



Complexité des situations, expérience, tension et vigilance : quels impacts sur la charge de travail et les performances de jeunes conducteurs ?

Julie Paxion

► To cite this version:

Julie Paxion. Complexité des situations, expérience, tension et vigilance : quels impacts sur la charge de travail et les performances de jeunes conducteurs ?. Sciences cognitives. Aix-Marseille Université, 2014. Français. NNT : . tel-01214415

HAL Id: tel-01214415

<https://hal.science/tel-01214415>

Submitted on 12 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AIX – MARSEILLE Université

UFR de Psychologie, Département de Psychologie Cognitive

Ecole Doctorale 356 : Cognition, Langage, Education

THÈSE DE DOCTORAT

Pour obtenir le grade de Docteur d'Aix-Marseille Université

Discipline : Psychologie, Spécialité : Ergonomie

Présentée et soutenue publiquement par

Julie Paxion

le 05 décembre 2014

**Complexité des situations, expérience, tension et
vigilance : quels impacts sur la charge de travail et les
performances de jeunes conducteurs ?**

Sous la direction de

Catherine Berthelon, Directrice de Recherche - HDR (IFSTTAR – LMA)

Edith Galy, Maître de Conférences – HDR (AMU – PsyCLE)

Composition du jury :

Catherine BERTHELON – DR, IFSTTAR

Directrice de thèse

Edith GALY – MCF-HDR, Aix-Marseille Université

Codirectrice de thèse

Françoise DARSES – PU, IRBA

Examineur

Daniel MESTRE – DR, CNRS et Aix Marseille Université

Examineur

André TRICOT – PU, Université de Toulouse-le-Mirail

Rapporteur

Cécile VAN DEN LEEMPUT – PU, Université libre de Bruxelles

Rapporteur

Remerciements

Je remercie tout d'abord mes directrices de thèse, Catherine Berthelon pour m'avoir permis de réaliser ce travail très enrichissant, avec une possibilité de participer à plusieurs congrès, pour son accueil et ses conseils, et Edith Galy pour avoir suscité mon enthousiasme à réaliser cette thèse tout au long de ses étapes, pour son apport de connaissances, son agréabilité et son soutien.

Je remercie également l'IFSTTAR et le Laboratoire Mécanismes d'Accidents (LMA), structure d'accueil qui m'a permis de me familiariser avec le monde de la recherche, ainsi que le Centre PsyCLE qui m'a apporté une grande complémentarité, notamment en me permettant d'enseigner à l'université d'Aix-Marseille.

Je tiens également à remercier Isabelle Aillerie, appartenant au Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations (LEPSIS) de l'IFSTTAR, pour avoir réalisé les scénarios visuels de mes expérimentations ainsi que pour son aide au bon fonctionnement du simulateur. Egalement Thomas Arciszewski, appartenant au Centre PsyCLE, pour m'avoir facilité le tri des données du simulateur.

Je remercie bien évidemment l'ensemble des chercheurs, ingénieurs et doctorants de l'IFSTTAR de Salon-de-Provence pour m'avoir accompagné dans la convivialité durant cette thèse, et pour s'être rendu disponible pour répondre à mes diverses questions. Avec particulièrement Thierry pour son apport de connaissances en statistiques et les discussions enrichissantes, Maxime pour ses « réponses à tout » notamment concernant les formules de calculs, Jean-Yves pour les régressions logistiques, Marie-Axelle pour m'avoir fait partager ses livres, Michèle pour m'avoir donné accès à des articles « inaccessibles », Chloé pour avoir fait de notre bureau un agréable contexte de travail, Ludivine pour sa joie de vivre et ses carambars, Hedi et Maud pour avoir été bon public, Karyn pour ses séances d'accueil et ses bonbons réconfortants, Martin, Bastien, Nicolas, Jean-Bastien, Marie-Claude, Hélène, Thierry, Stéphane, Cécile, Christine, Julie, Sébastien, Laura, Anne-Laure, Christophe et toute l'équipe du midi pour les rires partagés.

Je remercie également Catherine Gabaude (IFSTTAR/LESCOT, Bron) et Aurélie Campagne (Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, université Pierre Mendès-France de Grenoble) pour leurs conseils dans leur domaine d'expertise, à savoir respectivement la charge de travail avec ses débats théoriques et la vigilance avec l'exploitation des données de l'électroencéphalogramme.

Je remercie également Olivier Stucker (Cerom à l'université Paris 7) qui a su me guider pour utiliser les fonctionnalités du biopac les plus adéquates pour le traitement des signaux.

Je remercie également les deux stagiaires que j'ai encadrés. Sylvain Mazon pour avoir créé un nouveau manuel du simulateur adapté à ses utilisateurs, et Camille Batisse pour avoir trouvé des éléments bibliographiques sur les mesures physiologiques utilisées dans cette thèse.

Je remercie également l'ensemble des 89 participants qui m'ont permis de mener à bien les deux expérimentations sur le simulateur de conduite.

Je tiens également à remercier Françoise Darses, Daniel Mestre, André Tricot et Cécile Van Den Leemput pour avoir accepté d'être membre de mon jury de thèse.

Je remercie également ma famille, Stéfy, Joe et Magali pour avoir trouvé les arguments nécessaires qui m'ont aidé à choisir de réaliser cette thèse.

Pour finir, je remercie toutes les personnes de mon entourage, famille et amis qui ont été à mes côtés durant cette thèse. Et particulièrement mon conjoint Christophe pour m'avoir soutenu tout au long de ce parcours, pour m'avoir aidé dans mes réflexions, dans la mise en œuvre de procédures du traitement du signal sur le biopac, et tout simplement pour avoir été là.

*« La chose la plus importante est de ne pas s'arrêter de s'interroger.
La curiosité a sa propre raison d'exister. »
Albert Einstein*

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'identifier les liens entre les facteurs accidentogènes chez les jeunes conducteurs, en analysant les effets de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite sur la charge de travail, la tension, la vigilance et les performances. L'hypothèse générale est que les situations coûteuses, i.e. simples et très complexes, ainsi que le manque d'expérience peuvent mener à une forte dépense énergétique. Ainsi, un haut niveau de tension et un faible niveau de vigilance peuvent provoquer des dégradations de performances à travers la hausse de la charge de travail, caractérisant une surcharge du conducteur. Ceci devrait s'observer plus précocement pour les novices ayant suivi un Apprentissage Traditionnel (AT), puis pour ceux ayant suivi un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC), puis pour les conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire, et enfin pour les plus expérimentés. Une première expérimentation menée sur des données subjectives a confirmé les liens entre les niveaux de charge de travail, de tension et de vigilance en fonction de la complexité de la situation. Cependant, seuls les novices AAC étaient surchargés avec la complexité de la situation, de part des stratégies inefficaces. Une seconde expérimentation menée sur des données subjectives et physiologiques a également confirmé les liens entre les niveaux de charge de travail, de tension et de vigilance, avec une sous-estimation du niveau physiologique par les novices AT. Les deux groupes comparés (novices AT et conducteurs à la fin du permis probatoire) étaient surchargés en situation complexe, soit car ils n'adoptaient pas les stratégies adéquates (novice), soit par manque de flexibilité par rapport aux automatismes (conducteurs à la fin du permis probatoire). Les résultats établissant les liens entre des caractéristiques de la situation de conduite et des caractéristiques individuelles menant à des accidents de la route pourront permettre d'adapter les actions de sensibilisation et les modules de formations à la conduite.

Mots clés : Complexité des situations ; Expérience de conduite ; Charge de travail ; Tension ; Vigilance ; Simulation de conduite

Abstract

The aim of this thesis is to identify the links between factors contributing to accidents among young drivers, by analyzing the effects of situation complexity and driving experience on workload, tension, vigilance and performance. The general hypothesis is that costly situations, i.e. simple and very complex, and the lack of experience can lead to high energy expenditure. A high level of tension and a low level of vigilance can thus result in performance impairments through the increase of workload, characterizing a driver's overload. This should be observed earlier for novices who had a Traditionally-Trained Learning (TTL), then for those who had an Early-Trained Learning (ETL), then for drivers arriving at the end of the probationary period, and finally for more experienced drivers. A first experiment carried out on subjective data has confirmed the links between the levels of workload, tension and vigilance depending on the situation complexity. However, only novices ETL were overloaded with the situation complexity, due to ineffective strategies. A second experiment carried out on subjective and physiological data has also confirmed the links between the levels of workload, tension and vigilance, with an underestimation of the physiological level by the novices TTL. The two compared groups (novices TTL and drivers at the end of the probation) were overloaded in complex situation, either because they didn't adopt the appropriate strategies (novices TTL), either by lack of flexibility in relation to the automatisms (drivers at the end of the probation). The results establishing the links between the characteristics of the driving situation and the individual characteristics leading to road accidents will allow adapting awareness actions and modules of driving training.

Key words : Situations complexity ; Driving experience ; Workload ; Tension ; Vigilance ; Driving simulation

Table des matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : Situations et expérience de conduite	4
1. Situations de conduite	5
1.1. Complexité des situations	5
1.2. Difficultés des tâches de conduite inhérentes aux situations	6
2. Expérience de conduite	9
2.1. Accidentologie : données épidémiologiques chez les jeunes conducteurs	9
2.2. Profils d'expérience de jeunes conducteurs en France	10
2.3. Processus expliquant les accidents des conducteurs novices.....	11
CHAPITRE 2 : Liens entre les facteurs accidentogènes	14
1. Surcharge : impact de la situation de conduite et de l'expérience.....	15
1.1. Impact de la complexité des situations de conduite.....	15
1.2. Impact de l'expérience de conduite	19
2. Etat interne modulant la surcharge	23
2.1. Etat interne : liens entre tension et vigilance	23
2.2. Anxiété	24
2.2.1. <i>Impact de la complexité des situations de conduite</i>	24
2.2.2. <i>Impact de l'expérience de conduite</i>	32
2.3. Vigilance	34
2.3.1. <i>Impact de la complexité des situations de conduite</i>	34
2.3.2. <i>Impact de l'expérience de conduite</i>	38
CHAPITRE 3 : Mesures subjectives et objectives	39
1. Charge de travail	40
1.1. Charge de travail subjective	40
1.1.1 <i>Questionnaires : outils de mesure</i>	40
1.1.2 <i>Effets de la complexité de la situation sur la charge de travail subjective et les performances</i> .	43
1.1.3 <i>Effets de l'expérience sur la charge de travail subjective et les performances</i>	45
1.2. Charge de travail objective	46
1.2.1 <i>Indicateurs physiologiques : outils de mesure</i>	46

1.2.2 Effets de la complexité de la situation sur les indicateurs physiologiques de charge de travail .	49
1.3. Comparaisons entre mesures subjectives et physiologiques	51
1.3.1 Effets de la complexité de la situation sur les mesures subjectives et physiologiques de la charge de travail et les performances	51
1.3.2 Effets de l'expérience sur les mesures subjectives et physiologiques de la charge de travail et les performances	53
2. Anxiété	54
2.1. Anxiété subjective	54
2.1.1 Questionnaires : outils de mesure	54
2.1.2 Effets de la complexité de la situation sur l'anxiété subjective et les performances	56
2.1.3 Effets de l'expérience sur l'anxiété subjective et les performances	57
2.2. Anxiété objective.....	58
2.2.1 Indicateurs physiologiques : outils de mesure	58
2.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la tension objective et les performances	59
2.1.3 Effets de l'expérience sur l'anxiété objective et les performances	61
2.3. Comparaisons entre mesures subjectives et physiologiques.....	62
2.3.1 Effets de la complexité de la situation sur les mesures subjectives et physiologiques de l'anxiété et les performances	62
2.3.2 Effets de l'expérience sur les mesures subjectives et physiologiques de l'anxiété et les performances	62
3. Vigilance	64
3.1. Vigilance subjective	64
3.1.1 Questionnaires : outils de mesure	64
3.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la vigilance subjective et les performances	65
3.1.3 Effets de l'expérience sur la vigilance subjective et les performances	66
3.2. Vigilance objective.....	67
3.2.1 Indicateurs physiologiques : outils de mesure	67
3.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la vigilance objective et les performances	68
3.1.3 Effets de l'expérience sur la vigilance objective et les performances	68
3.3. Comparaisons entre mesures subjectives et physiologiques.....	69
3.3.1 Effets de la complexité de la situation sur les mesures subjectives et physiologiques de la vigilance et les performances	69

3.3.2 Effets de l'expérience sur les mesures subjectives et physiologique de la vigilance et les performances	69
CHAPITRE 4 : Problématique	70
1. Liens entre les facteurs accidentogènes.....	71
1.1. Situations et expérience de conduite	71
1.2. Charge de travail subjective et objective	73
1.2.1 Effets de la situation	73
1.2.2 Effets de l'expérience de conduite	75
1.3. Anxiété subjective et objective.....	77
1.3.1 Effets de la situation	77
1.3.2 Effets de l'expérience de conduite	78
1.4. Vigilance subjective et objective	79
1.4.1 Effets de la situation	79
1.4.2 Effets de l'expérience de conduite	80
2. Mesures subjectives et objectives.....	81
3. Perspectives de recherches	83
CHAPITRE 5 : Expérimentation 1 : données subjectives	85
1. Objectifs de l'expérimentation 1	86
2. Méthodologie	86
2.1. Participants	86
2.2. Matériel	87
2.2.1. Simulateur de conduite	87
2.2.2. Situations de conduite	88
2.2.3. Mesures subjectives	92
2.2.4. Mesures objectives de performance	92
2.3. Procédure.....	94
2.4. Analyses statistiques.....	96
2.4.1 Portions sans piétons	96
2.4.2 Portions avec piétons	97
2.4.3 Niveau interne d'activation avant et après chaque situation	98
3. Résultats	99
3.1. Fiabilité des questionnaires et effets d'ordre	99

3.2. Portions sans piétons	101
3.2.1. Charge de travail subjective globale attribuée aux portions sans piétons	101
3.2.2. Tension subjective après chaque situation	106
3.2.2. Vigilance subjective après chaque situation	110
3.2.4. Stratégies compensatoires : vitesse moyenne (en km/h)	113
3.2.5. Performances de conduite : écart-type de vitesse	119
3.2.6. Stratégies compensatoires : Position Latérale moyenne (en mm)	124
3.2.7. Performances de conduite : Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP)	129
3.3. Portions avec piétons	134
3.3.1 Charge de travail subjective attribuée aux 2 ^e et 3 ^e piétons	134
3.3.2 Tension subjective après chaque situation	142
3.3.3 Vigilance subjective après chaque situation	147
3.3.4 Stratégies d'évitement des 2 ^e et 3 ^e piétons	152
3.3.5 Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2 ^e et 3 ^e piétons	157
3.3.6 Nombre de collisions avec les 2 ^e et 3 ^e piétons	163
3.4. Etat interne d'activation : corrélation entre tension et vigilance subjectives	170
4. Discussion	171
4.1. Portions sans piétons	171
4.1.1 Surcharge en fonction de la situation et de l'expérience	171
4.1.2 Stratégies compensatoires : vitesse moyenne et position latérale moyenne	173
4.1.3 Etat interne d'activation: effets modulateurs sur la surcharge ?	175
4.2. Portions avec piétons	187
4.2.1 Surcharge en fonction de l'expérience et de la situation	187
4.2.2 Stratégies d'évitement des 2 ^e et 3 ^e piétons (freinage, écart, combinaison, anticipation)	189
4.2.3 Niveau interne d'activation: effets modulateurs sur la surcharge ?	191
5. Conclusion	202
5.1. Portions sans piétons	202
5.2. Portions avec piétons	207
CHAPITRE 6 : Expérimentation 2 : données subjectives et physiologiques	213
1. Objectifs de l'expérimentation 2	214
2. Méthodologie	214

2.1. Participants	214
2.2. Matériel	215
2.2.1. <i>Simulateur de conduite</i>	215
2.2.2. <i>Situations de conduite</i>	216
2.2.3. <i>Mesures subjectives</i>	216
2.2.4. <i>Mesures physiologiques</i>	217
2.2.5. <i>Mesures objectives de performance</i>	220
2.3. Procédure	221
2.4. Analyse des données physiologiques	222
2.5. Analyses statistiques	226
2.5.1 <i>Portions sans piétons</i>	227
2.5.2 <i>Portions avec piétons</i>	229
2.5.3 <i>Niveau interne d'activation avant et après chaque situation</i>	230
3. Résultats	231
3.1. Fiabilité des questionnaires et effets d'ordre	231
3.2. Portions sans piétons	234
3.2.1. <i>Charge de travail globale attribuée aux portions sans piétons</i>	234
3.2.2. <i>Tension après chaque situation</i>	241
3.2.3. <i>Vigilance après chaque situation</i>	247
3.2.4. <i>Stratégies compensatoires : vitesse moyenne (en km/h)</i>	252
3.2.5. <i>Performances de conduite : écart-type de vitesse</i>	257
3.2.6. <i>Stratégies compensatoires : Position Latérale moyenne (en mm)</i>	262
3.2.7. <i>Performances de conduite : Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP)</i>	266
3.3. Portions avec piétons	270
3.3.1 <i>Charge de travail attribuée aux 2^e et 3^e piétons</i>	270
3.3.2 <i>Tension après chaque situation</i>	283
3.3.3 <i>Vigilance après chaque situation</i>	293
3.3.4 <i>Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons</i>	302
3.3.5 <i>Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2^e et 3^e piétons</i>	307
3.3.6 <i>Nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons</i>	312
3.4. Etat interne d'activation : corrélation entre tension et vigilance	325

4. Discussion	327
4.1. Portions sans piétons	327
4.1.1 <i>Surcharge en fonction de la situation et de l'expérience</i>	327
4.1.2 <i>Stratégies compensatoires : vitesse moyenne et position latérale moyenne</i>	330
4.1.3 <i>Niveau d'activation interne : effets modulateurs sur la surcharge ?</i>	330
4.1.4 <i>Corrélations entre niveaux subjectifs et physiologiques</i>	343
4.2. Portions avec piétons	345
4.2.1 <i>Surcharge en fonction de l'expérience et de la situation</i>	345
4.2.2 <i>Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons</i>	347
4.2.3 <i>Niveau d'activation interne : effets modulateurs sur la surcharge ?</i>	347
4.2.4 <i>Corrélations entre niveaux subjectifs et physiologiques</i>	362
5. Conclusion	363
5.1. Portions sans piétons	363
5.2. Portions avec piétons	367
DISCUSSION GENERALE	371
BIBLIOGRAPHIE	376
ANNEXES	387
Annexe 1. Recrutement des participants	388
Annexe 2. Critères d'inclusion (expérimentation 1)	390
Annexe 3. Fiche d'information (Expérimentation 1)	391
Annexe 4. Formulaire de consentement libre et éclairé (Expérimentation 1)	392
Annexe 5. Approbation de l'expérimentation 1 par le CERB	393
Annexe 6. Questionnaire de charge de travail : NASA-TLX	395
Annexe 7. Echelle de Thayer	410
Annexe 8. Critères d'inclusion et de non inclusion (expérimentation 2)	412
Annexe 9. Questionnaire d'informations générales (expérimentation 2)	413
Annexe 10. Fiche d'information (expérimentation 2)	416
Annexe 11. Formulaire de consentement libre et éclairé (expérimentation 2)	417
Annexe 12. Approbation de l'expérimentation 2 par le CERB	418
Annexe 13. Approbation de l'expérimentation 2 par le CPP	420
Annexe 14. Test de Sobel (expérimentation 2)	422

Liste des figures

Figure 1. Performances et charge de travail en fonction des demandes.	16
Figure 2. Modèle de travail du processus de calibration.	21
Figure 3. Relation en U renversé entre pression et performance.	25
Figure 4. Corrélation entre vigilance et performance.	36
Figure 5. Liens entre différents facteurs accidentogènes: complexité de la situation, expérience, charge de travail, état interne et performances.	83
Figure 6. Simulateur de conduite.	87
Figure 7. Représentation graphique de l'ensemble de la situation moyennement complexe.	88
Figure 8. Représentation graphique de l'ensemble de la situation très complexe.	89
Figure 9. Schéma des distances inter-véhiculaire par ordre d'apparition des véhicules.	89
Figure 10. Configuration de la route nationale et de l'apparition des piétons (exemple de l'abri bus).	91
Figure 11. Exemple de découpage des portions avec vs. sans piétons.	93
Figure 12. Circuit de familiarisation avec le simulateur de conduite.	94
Figure 13. Procédure de l'expérimentation 1.	95
Figure 14. Position Latérale moyenne en fonction de l'ordre de présentation des situations.	100
Figure 15. Prédictors de la charge de travail subjective.	101
Figure 16. Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite.	104
Figure 17. Charge de travail subjective en fonction de la situation de conduite.	105
Figure 18. Prédictors de la tension subjective après chaque situation.	106
Figure 19. Tension subjective avant (à gauche) et après (à droite) chaque situation en fonction de l'expérience de conduite.	108
Figure 20. Effet de la tension subjective avant chaque situation sur la tension subjective après chaque situation dans chaque situation de conduite.	108
Figure 21. Prédictors de la vigilance subjective après chaque situation.	110
Figure 22. Prédictors de la vitesse moyenne.	113
Figure 23. Vitesse moyenne (en km/h) en fonction de l'expérience de conduite.	116
Figure 24. Vitesse moyenne (en km/h) en fonction de la situation de conduite.	116
Figure 25. Vigilance subjective avant chaque situation (à gauche) et Vitesse moyenne (en km/h) (à droite) en fonction de l'expérience de conduite.	117
Figure 26. Prédictors de l'écart-type de vitesse.	119
Figure 27. Ecart-type de vitesse moyenne (en km/h) en fonction de l'expérience de conduite.	121
Figure 28. Tension subjective après chaque situation (à gauche) et Ecart-type de vitesse moyenne (en km/h) (à droite) en fonction de l'expérience de conduite.	122
Figure 29. Prédictors de la Position Latérale moyenne.	124
Figure 30. Position Latérale moyenne (en mm) en fonction de la situation de conduite.	127
Figure 31. Prédictors des SDLP.	129
Figure 32. SDLP en fonction de l'expérience de conduite.	131

Figure 33. SDLP en fonction de la situation de conduite.	131
Figure 34. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP en fonction de la situation de conduite.	132
Figure 35. Prédicteurs de la charge de travail subjective attribuée aux piétons.	134
Figure 36. Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite.	137
Figure 37. Effet de la vigilance subjective après chaque situation sur la Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite.	138
Figure 38. Charge de travail subjective en fonction des stratégies d'évitement des piétons.	140
Figure 39. Prédicteurs de la tension subjective après chaque situation.	142
Figure 40. Tension subjective avant (à gauche) et après (à droite) chaque situation en fonction de l'expérience de conduite.	144
Figure 41. Charge de travail subjective (à gauche) et Tension subjective après chaque situation (à droite) en fonction de la situation de conduite.	145
Figure 42. Prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation.	147
Figure 43. Charge de travail subjective (à gauche) et Vigilance subjective après chaque situation (à droite) en fonction de l'expérience de conduite.	150
Figure 44. Prédicteurs des stratégies d'évitement des piétons.	152
Figure 45. Prédicteurs des Temps de Réaction (TR en sec.).	157
Figure 46. Prédicteurs du nombre de collisions avec les 2 ^e et 3 ^e piétons.	163
Figure 47. Nombre de collisions dans chaque situation et pour chaque stratégie.	166
Figure 48. Corrélations entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance.	170
Figure 49. Surcharge de travail subjective et stratégies compensatoires en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.	171
Figure 50. Effets de l'état interne avant chaque situation sur la charge de travail subjective et les performances.	175
Figure 51. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la tension subjective.	177
Figure 52. Relations entre tension subjective après chaque situation et charge de travail subjective.	178
Figure 53. Effets de la situation, de l'expérience et de l'état interne de base sur la tension subjective après chaque situation.	179
Figure 54. Impacts de la tension subjective après chaque situation sur les performances et les stratégies compensatoires.	180
Figure 55. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la vigilance subjective.	182
Figure 56. Relations entre vigilance subjective après chaque situation et charge de travail subjective.	183
Figure 57. Effets de la vigilance subjective de base sur la vigilance subjective après chaque situation.	184
Figure 58. Effets de la vigilance subjective après chaque situation sur les performances et les stratégies compensatoires.	185
Figure 59. Surcharge de travail subjective et stratégies d'évitement en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.	187

Figure 60. Effets d'une composante de l'état interne avant chaque situation sur la charge de travail subjective, les performances et les stratégies d'évitement des piétons: la tension subjective.	192
Figure 61. Effets de la vigilance subjective avant chaque situation sur la charge de travail subjective, les performances et les stratégies d'évitement des piétons.	193
Figure 62. Relations entre tension subjective après chaque situation et charge de travail subjective.	194
Figure 63. Effets de la situation et de l'état interne de base sur la tension subjective après chaque situation. ...	195
Figure 64. Effets de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies d'évitement des piétons et les performances (TR).	196
Figure 65. Relations entre vigilance subjective après chaque situation et charge de travail subjective.	198
Figure 66. Effets de l'expérience, de la situation et de l'état interne de base sur la vigilance subjective après chaque situation.	199
Figure 67. Effets de la vigilance subjective après chaque situation sur la charge de travail subjective et les performances.	200
Figure 68. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.	203
Figure 69. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite.	204
Figure 70. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.	205
Figure 71. Modèle obtenu pour les conducteurs expérimentés.	206
Figure 72. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.	208
Figure 73. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite.	210
Figure 74. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.	211
Figure 75. Modèle obtenu pour les conducteurs expérimentés.	212
Figure 76. Simulateur de conduite.	215
Figure 77. Boîtier Biopac MP36R.	217
Figure 78. Capteur d'effort respiratoire SS5LB.	218
Figure 79. Capteur digital d'activité électrodermale SS3LA.	218
Figure 80. Système d'électroencéphalographie CAP100C.	219
Figure 81. Position des électrodes.	219
Figure 82. Schéma des adaptateurs EEG.	220
Figure 83. Procédure de l'expérimentation 2.	222
Figure 84. Signaux tonique et phasique de la réponse électrodermale.	225
Figure 85. Exemple de réponse électrodermale (pic).	225
Figure 86. Prédictors de la charge de travail subjective.	234
Figure 87. Charge de travail subjective pour chaque groupe dans chaque situation.	237
Figure 88. Prédictors du différentiel de fréquence cardiaque moyenne.	238
Figure 89. Prédictors de la tension subjective après chaque situation.	241
Figure 90. Prédictors du différentiel d'activité électrodermale moyenne.	244
Figure 91. Différentiel d'activité électrodermale en fonction de la situation.	245
Figure 92. Prédictors de la vigilance subjective après chaque situation.	247
Figure 93. Prédictors du différentiel du ratio EEG.	249
Figure 94. Prédictors de la vitesse moyenne (stratégie compensatoire).	252

Figure 95. Vitesse moyenne en fonction de chaque groupe dans chaque situation.	255
Figure 96. Prédicteurs de l'écart-type de vitesse (performance).	257
Figure 97. Ecart-type de vitesse en fonction de chaque situation.	258
Figure 98. Prédicteurs de la position latérale moyenne (stratégie).	262
Figure 99. Position latérale moyenne en fonction de la complexité des situations.	265
Figure 100. Prédicteurs des SDLP (performance).	266
Figure 101. Prédicteurs de la charge de travail subjective.	270
Figure 102. Tension subjective après chaque situation en fonction du groupe et de la situation.	271
Figure 103. Prédicteurs du différentiel de fréquence cardiaque moyenne.	276
Figure 104. Différentiel de fréquence cardiaque en fonction de la situation et de la stratégie d'évitement des piétons.	279
Figure 105. Prédicteurs de la tension subjective après chaque situation.	283
Figure 106. Tension subjective après chaque situation pour chaque groupe dans chaque situation.	287
Figure 107. Prédicteurs de l'amplitude moyenne des pics de réponse électrodermale.	289
Figure 108. Prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation.	293
Figure 109. Vigilance subjective après passation dans chaque situation.	295
Figure 110. Prédicteurs du différentiel du ratio EEG.	297
Figure 111. Différentiel du ratio EEG pour chaque groupe dans chaque situation.	299
Figure 112. Prédicteurs des stratégies d'évitement des 2 ^e et 3 ^e piétons.	302
Figure 113. Prédicteurs des temps de réaction (performance).	307
Figure 114. Temps de Réaction pour chaque groupe dans chaque situation.	309
Figure 115. Prédicteurs du nombre de collisions avec les 2 ^e et 3 ^e piétons (performance).	312
Figure 116. Nombre de collisions pour chaque groupe en fonction de chaque stratégie.	320
Figure 117. Nombre de collisions pour chaque groupe en fonction de chaque stratégie.	321
Figure 118. Surcharge de travail et stratégies compensatoires en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.	328
Figure 119. Effets de l'état interne avant chaque situation sur la charge de travail subjective, le différentiel de fréquence cardiaque et les performances.	331
Figure 120. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la tension (niveaux subjectif et physiologique).	334
Figure 121. Relations entre niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de charge de travail.	335
Figure 122. Effets sur la tension subjective après chaque situation et le différentiel d'activité électrodermale.	336
Figure 123. Effets de la tension subjective après chaque situation et du différentiel d'activité électrodermale.	337
Figure 124. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la vigilance (niveaux subjectif et physiologique).	339
Figure 125. Relations entre niveaux subjectifs et physiologiques de vigilance et de charge de travail.	340
Figure 126. Effets sur la vigilance subjective après chaque situation et le différentiel d'activité du ratio EEG.	341
Figure 127. Effets de la vigilance subjective après chaque situation et du différentiel du ratio EEG.	342
Figure 128. Surcharge de travail et stratégies compensatoires en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.	345

Figure 129. Effets d'une composante de l'état interne avant chaque situation : la tension (niveaux subjectif et physiologique).....	348
Figure 130. Effets d'une composante de l'état interne avant chaque situation : la vigilance (niveaux subjectif et physiologique).....	350
Figure 131. Relations entre tension subjective après chaque situation, amplitude des réponses électrodermales et charge de travail subjective.	351
Figure 132. Relations entre tension subjective après chaque situation, amplitude des réponses électrodermales et différentiel de fréquence cardiaque.	353
Figure 133. Effets sur la tension subjective après chaque situation et l'amplitude des réponses électrodermales.	354
Figure 134. Effets de la tension subjective après chaque situation et l'amplitude des réponses électrodermales.	356
Figure 135. Relations entre vigilance subjective après chaque situation, différentiel du ratio EEG et charge de travail subjective.	358
Figure 136. Effets sur la vigilance subjective après chaque situation et le différentiel du ratio EEG.	360
Figure 137. Effets de la vigilance subjective après chaque situation et du différentiel du ratio EEG.	361
Figure 138. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.	364
Figure 139. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire à partir des différences avec les novices.	366
Figure 140. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.	368
Figure 141. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.	370
Figure 142. Prospectus pour le recrutement des participants.	388
Figure 143. Affiche pour le recrutement des participants.	389

Liste des tableaux

Tableau 1. Avantages des questionnaires de charge de travail.....	42
Tableau 2. Facteurs déterminants des performances (approche empirique).....	71
Tableau 3. Effets de la complexité de la situation sur les niveaux subjectif et objectif de charge de travail et sur les performances des expérimentés (approche empirique).....	73
Tableau 4. Effets de la complexité de la situation sur les niveaux subjectif et objectif de charge de travail et sur les performances des conducteurs novices (approche empirique).....	75
Tableau 5. Niveaux subjectif et objectif de charge de travail et performances des novices par rapport aux expérimentés (approche empirique).	75
Tableau 6. Effets de situations anxiogènes sur les niveaux subjectif et objectif d'anxiété et sur les performances des conducteurs expérimentés (approche empirique).....	77
Tableau 7. Effets de situations anxiogènes sur les niveaux subjectif et objectif d'anxiété et sur les performances des novices (approche empirique).....	78
Tableau 8. Effets de situations monotones et prolongées sur les niveaux subjectif et objectif de vigilance et sur les performances des expérimentés (approche empirique).....	79
Tableau 9. Effets de situations très complexes ou d'effort mental soutenu sur le niveau objectif de vigilance et sur les performances des expérimentés (approche empirique).	80
Tableau 10. Présence des piétons derrière les caches en couleur à différents Points Kilométriques (PK en mm) en fonction de chaque situation.....	90
Tableau 11. Corrélations r de Bravais-Pearson entre les dimensions de l'échelle de Thayer et leurs items.	99
Tableau 12. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective <i>via</i> les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation.	102
Tableau 13. Prédicteurs de charge, tension et vigilance.....	103
Tableau 14. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation <i>via</i> la charge de travail subjective.	107
Tableau 15. Scores z des effets indirects sur la vigilance subjective après chaque situation <i>via</i> la charge de travail subjective.	111
Tableau 16. Vigilance subjective après chaque situation pour chaque groupe.	112
Tableau 17. Scores z des effets indirects sur la vitesse moyenne <i>via</i> la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.....	114
Tableau 18. Prédicteurs de vitesse (moyenne et écart-type).	115
Tableau 19. Scores z des effets indirects sur l'écart-type de vitesse <i>via</i> la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.	120
Tableau 20. Effet de la charge de travail subjective sur l'écart-type de la vitesse pour chaque groupe dans chaque situation.....	123
Tableau 21. Scores z des effets indirects sur la Position Latérale moyenne <i>via</i> la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.....	125
Tableau 22. Prédicteurs de position latérale (moyenne et écart-type).....	126

Tableau 23. Scores z des effets indirects sur les SDLP <i>via</i> la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.	130
Tableau 24. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation. .	133
Tableau 25. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective <i>via</i> les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation, et les stratégies d'évitement des 2 ^e et 3 ^e piétons.	135
Tableau 26. Prédicteurs de charge, tension et vigilance.	136
Tableau 27. Charge de travail subjective pour chaque groupe et chaque stratégie.	139
Tableau 28. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation <i>via</i> la charge de travail subjective.	143
Tableau 29. Scores z des effets indirects sur la vigilance subjective après chaque situation <i>via</i> la charge de travail subjective.	148
Tableau 30. Vigilance subjective pour chaque groupe dans chaque situation.	149
Tableau 31. Prédicteurs des stratégies, TR et du nombre de collisions.	153
Tableau 32. Effet de la situation sur les stratégies.	154
Tableau 33. Effet de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies.	155
Tableau 34. Scores z des effets indirects sur les Temps de Réaction <i>via</i> la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.	158
Tableau 35. TR pour chaque groupe dans chaque situation.	159
Tableau 36. Effet de la charge de travail subjective sur les TR pour chaque groupe dans chaque situation.	161
Tableau 37. Scores z des effets indirects sur le nombre de collisions <i>via</i> la charge de travail subjective, les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation, les stratégies et les Temps de Réaction. ...	164
Tableau 38. Nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.	165
Tableau 39. Effet de la charge de travail subjective sur le nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.	168
Tableau 40. Nombre de collisions par situation en fonction du type de cache.	216
Tableau 41. Corrélations r de Bravais-Pearson entre chaque dimension et chaque item de l'échelle de Thayer. 231	
Tableau 42. Charge de travail subjective, vitesse moyenne et SDLP en fonction de l'ordre de présentation des situations.	232
Tableau 43. Tension subjective avant, pics de réponse électrodermale, tension subjective après et ratio EEG avant en fonction de l'ordre de présentation des situations.	233
Tableau 44. Prédicteurs de charge, tension et vigilance.	236
Tableau 45. Différentiel de fréquence cardiaque moyenne pour chaque groupe dans chaque situation.	239
Tableau 46. Prédicteurs des niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de vigilance.	242
Tableau 47. Vigilance subjective après pour chaque groupe dans chaque situation.	248
Tableau 48. Différentiel du ratio EEG pour chaque groupe et chaque situation.	250
Tableau 49. Prédicteurs de vitesse (moyenne et écart-type).	253
Tableau 50. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur l'écart-type de vitesse pour chaque groupe dans chaque situation.	260
Tableau 51. Prédicteurs de Position Latérale moyenne et SDLP.	263
Tableau 52. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation. .	268

Tableau 53. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation.	269
Tableau 54. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective <i>via</i> les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation et le niveau physiologique pendant l'activité.	272
Tableau 55. Prédicteurs de charge et du différentiel de fréquence cardiaque.	273
Tableau 56. Différentiel de fréquence cardiaque moyenne pour chaque groupe dans chaque situation.	278
Tableau 57. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation <i>via</i> la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.	285
Tableau 58. Prédicteurs des niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de vigilance.	286
Tableau 59. Prédicteurs des stratégies, TR et du nombre de collisions.	303
Tableau 60. Effet de la tension subjective avant chaque situation sur les stratégies en fonction de la situation.	305
Tableau 61. Effet de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies en fonction de la situation.	306
Tableau 62. Effet de la charge de travail subjective sur les TR pour chaque groupe dans chaque situation.	310
Tableau 63. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les TR pour chaque groupe dans chaque situation.	310
Tableau 64. Scores z des effets indirects sur le nombre de collisions <i>via</i> la charge de travail subjective, le différentiel de fréquence cardiaque, les stratégies et les Temps de Réaction.	317
Tableau 65. Effet de la charge de travail subjective sur le nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.	322
Tableau 66. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur le nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.	322

Liste des annexes

Annexe 1. Recrutement des participants	388
Annexe 2. Critères d'inclusion (expérimentation 1).....	390
Annexe 3. Fiche d'information (Expérimentation 1)	391
Annexe 4. Formulaire de consentement libre et éclairé (Expérimentation 1)	392
Annexe 5. Approbation de l'expérimentation 1 par le CERB	393
Annexe 6. Questionnaire de charge de travail : NASA-TLX	395
Annexe 7. Echelle de Thayer.....	410
Annexe 8. Critères d'inclusion et de non inclusion (expérimentation 2).....	412
Annexe 9. Questionnaire d'informations générales (expérimentation 2)	413
Annexe 10. Fiche d'information (expérimentation 2)	416
Annexe 11. Formulaire de consentement libre et éclairé (expérimentation 2)	417
Annexe 12. Approbation de l'expérimentation 2 par le CERB	418
Annexe 13. Approbation de l'expérimentation 2 par le CPP	420
Annexe 14. Test de Sobel (expérimentation 2)	422

Introduction

Dans le système complexe tripartite que constitue celui de la circulation routière (environnement-homme-véhicule), l'origine des problèmes se situe principalement dans les interactions entre les éléments de ce système (Van Eslande, 2003). Nous porterons une attention particulière aux interactions entre les situations de conduite et le conducteur dans la mesure où la majorité des accidents (90%) est due à une défaillance humaine (Amditis et al., 2010) dans une situation particulière. Ainsi, pour comprendre la survenue des accidents de la route, il convient de prendre en compte les caractéristiques de la situation (densité du trafic, présence d'intersection, monotonie de la route, etc.), mais également celles de l'individu (âge, expérience, état fonctionnel, etc.).

Une caractéristique principale de la situation pouvant mener à l'accident est sa complexité. En effet, en 2012, l'*Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière (ONISR)* recensait 8% des accidents mortels de véhicules légers sur autoroutes contre 78% hors agglomération, sur des routes départementales avec un trafic dense. De plus, les études épidémiologiques montrent que les jeunes conducteurs sont sur-impliqués dans les accidents de la route, et ce en excluant les personnes âgées (Williams, 2003). L'âge constitue donc un facteur d'accident, et plus particulièrement l'expérience inhérente à l'âge dans la mesure où le taux d'accidents diminue avec l'expérience de conduite (Mayhew, Simpson, & Pak, 2003). En 2012, les accidents mortels impliquant un véhicule léger concernaient 18,6% des conducteurs ayant le permis depuis moins de deux ans, dont 76% ayant entre 18 et 24 ans. Rapporté au nombre de kilomètres parcourus, leur risque d'accident mortel était presque quatre fois plus élevé que celui des conducteurs plus expérimentés et plus âgés (ONISR, 2012). A partir de ce constat, nous pouvons nous demander comment les connaissances et compétences acquises avec l'expérience permettent d'appréhender les différentes situations de manière à avoir des performances optimales de conduite.

Par ailleurs, plusieurs facteurs humains sont identifiés comme particulièrement accidentogènes. Ainsi, selon les données de la littérature, un niveau trop élevé de charge de travail, connu sous le terme de surcharge, entraîne une dégradation des performances (De Waard, 1996). Certaines situations de conduite sont davantage enclines à provoquer la surcharge, et ce en fonction de leur complexité. De plus, les conducteurs sont plus ou moins vulnérables à la surcharge en fonction de leur niveau d'expérience. La question est donc de

savoir dans quelle mesure le niveau de charge de travail est accidentogène en fonction de la complexité des situations de conduite et de l'expérience.

Parmi les facteurs individuels pouvant influencer la charge de travail, il y a non seulement l'expérience, mais également l'état fonctionnel du conducteur. La tension et la vigilance sont deux composantes intrinsèquement liées de cet état fonctionnel (Thayer, 1986), qui jouent également un rôle dans les accidents de la route. Il apparaît ainsi intéressant de comprendre comment leur lien fluctue en fonction des situations et comment chacun de ces facteurs influence les performances de conduite. S'agissant de la tension, nous nous appuierons sur des données traitant de l'anxiété dans le cadre de la conduite automobile, dans la mesure où la tension est apparentée à la composante physiologique de l'anxiété. Nous tenterons d'expliquer comment la hausse de la complexité des situations augmente l'anxiété qui à son tour dégrade les performances, souvent *via* la charge de travail. Concernant la vigilance, il s'agit d'un facteur accidentogène depuis longtemps étudié en sécurité routière. Le Bulletin d'Analyse de Accidents de la Circulation (BAAC) a ainsi recensé le facteur « malaise et fatigue » apparenté à l'hypovigilance comme étant le facteur principal d'accidents sur autoroute avec 14 à 25% d'accidents mortels selon les années (ONISR, 2012). La baisse de vigilance est souvent associée à des situations simples et monotones, bien qu'en situation très complexe, la surcharge de travail du conducteur entraîne également une diminution de la vigilance (Brookhuis, De Waard, Kraaij, & Bekiaris, 2003). Il est également à noter que le niveau d'expérience influence l'état interne du conducteur. En effet, face à des situations anxiogènes ou propices à la baisse de vigilance, les conducteurs novices sont davantage vulnérables que les plus expérimentés (Borowsky, Shinar, & Oron-Gilad, 2007 ; Smith, Horswill, Chambers, & Wetton, 2009).

Les trois caractéristiques individuelles suivantes, i.e. charge de travail, anxiété et vigilance, peuvent se manifester physiologiquement et peuvent également être auto-évaluées par les conducteurs. D'une part, nous tenterons d'identifier les mesures objectives physiologiques et subjectives les plus représentatives de la charge de travail, de l'anxiété et de la vigilance. L'objectif sera ainsi d'identifier les indicateurs physiologiques les plus représentatifs ainsi que les questionnaires les plus complets et les plus adaptés. D'autre part, l'analyse des données recueillies, en situation de conduite simulée, de ces mesures physiologiques et subjectives nous permettra de voir si la hausse de la complexité des situations et le manque d'expérience augmentent effectivement le niveau de charge de travail et finissent par entraîner une dégradation des performances. Par ailleurs, une hausse de

l'anxiété et une baisse de vigilance devraient favoriser l'apparition précoce d'une surcharge de travail dans des situations complexes et lorsque le conducteur manque d'expérience.

L'objectif de cette thèse est donc de comprendre les relations entre l'ensemble de ces facteurs susceptibles d'accroître l'implication des jeunes dans les accidents de la route, et ce afin d'envisager des actions de sensibilisation et de formation plus ciblées.

Cette thèse s'articule en cinq chapitres. Premièrement, nous nous centrerons sur la particularité des situations de conduite en fonction de leur complexité et sur les mécanismes acquis avec l'expérience de conduite. Deuxièmement, nous étudierons l'apparition de la surcharge de travail subjective en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite. Nous mettrons particulièrement l'accent sur la manière dont l'anxiété et la vigilance peuvent influencer la surcharge de travail subjective en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience. Troisièmement, nous comparerons les mesures objectives et subjectives de différents facteurs accidentogènes, i.e. charge de travail, tension et vigilance. Quatrièmement, nous présenterons deux études expérimentales. Une première étude portera sur l'influence de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite sur les performances *via* la charge de travail, la tension et la vigilance évaluées subjectivement. Une seconde étude introduira une évaluation objective de ces trois dernières variables par le biais de mesures physiologiques. Enfin, nous discuterons les résultats afin d'obtenir un modèle général utile pour faire les liens entre ces différents facteurs d'accidents chez les jeunes conducteurs.

CHAPITRE 1 : Situations et expérience de conduite

En conduite automobile, il est important de s'intéresser à la complexité des situations ainsi qu'au processus d'apprentissage qui se développe au fur et à mesure de la pratique. En effet, cela permet de mieux comprendre comment les conducteurs appréhendent les situations plus ou moins complexes en fonction de leur expérience. Ainsi, une première partie sera consacrée à la définition de la complexité des situations de conduite, ainsi qu'à la difficulté des tâches de conduite inhérente à cette complexité. Une seconde partie abordera tout d'abord les données épidémiologiques concernant les jeunes conducteurs en fonction de leur expérience, puis les différents niveaux d'expérience considérés en France, et enfin les processus expliquant les accidents des conducteurs novices.

1. Situations de conduite

Une situation de conduite est définie comme les interactions du système homme-véhicule-environnement à partir de la perspective du conducteur. Il s'agit d'une section délimitée qui se termine lors d'un changement environnemental (e.g., début de pluie), ou d'une fin d'interaction pour le conducteur (e.g., fin de passage d'une intersection ; Fastenmeier & Gstalter, 2007). Aux situations sont associées des tâches de conduite qui caractérisent l'activité du conducteur. La complexité des situations peut ainsi déterminer la difficulté des tâches.

1.1. Complexité des situations

Le conducteur évolue dans un environnement composé de différents éléments tels que le décor (arbres, infrastructures, feux tricolores, etc.), le trafic de véhicules (densité élevée ou faible) et la forme de la route (droite, avec virages, intersections, côtes, pentes, etc.). Plusieurs classifications de ces éléments caractérisant la complexité des situations ont été élaborées à partir du point de vue des conducteurs. Dans un premier temps, Benda (1977 ; in Fastenmeier & Gstalter, 2007) a énuméré trois millions de situations différentes subjectivement catégorisées en fonction de leur complexité. Les études actuelles se basent plutôt sur la classification moins exhaustive proposée plus récemment par Fastenmeier (1995). La taxonomie de la complexité des situations a ainsi été établie en fonction du Questionnaire d'Analyse de la Position (PAQ) de Frieling et Hoyos (1978 ; in Fastenmeier & Gstalter,

2007). Les résultats révèlent un recensement de 134 situations de conduite plus ou moins complexes en fonction du type de route (urbaine, rurale, autoroute), du tracé de la route (tracé horizontal avec vs. sans virages, tracé vertical avec vs. sans pente, type d'intersection avec vs. sans signalisation), et enfin du flux du trafic (rétrécissement de voie de circulation, embouteillage). Ainsi, une situation de conduite est fortement complexe s'il s'agit d'une route urbaine ou péri-urbaine, avec des virages ou des intersections, et une forte densité du trafic.

1.2. Difficultés des tâches de conduite inhérentes aux situations

La tâche primaire de conduite consiste à assurer la sécurité à l'intérieur de l'environnement routier (Parkes, 1991 ; in De Waard, 1996). La conduite automobile est donc une activité dynamique avec, pour chaque situation (i.e. section de route), des unités séquentielles de « tâches de conduite » associées, comme le fait de devoir arrêter son véhicule devant un panneau « Stop ».

Michon (1985) modélise la conduite automobile avec une hiérarchie des tâches sur trois niveaux. Le premier niveau stratégique constitue la planification des trajets, les décisions à prendre, comme le choix de la route à suivre. Le second niveau tactique correspond au choix des manœuvres à effectuer face à différentes situations (e.g., trafic dense). Et le troisième niveau opérationnel est l'exécution des manœuvres avec une adaptation aux situations demandant le contrôle du véhicule, comme la maîtrise de la trajectoire. En fonction du niveau dans lequel se situent les tâches, le traitement de l'information peut s'effectuer de manière contrôlée ou automatique. Aux niveaux stratégique et tactique, les processus cognitifs de haut niveau s'effectuent avec un traitement contrôlé lent, sériel, conscient et flexible. À l'inverse, le niveau opérationnel fait intervenir les processus cognitifs de bas niveau, avec un traitement automatique rapide, non conscient et rigide (Schneider & Shiffrin, 1977). En situation monotone (e.g., sur autoroute), les conducteurs doivent maintenir leur trajectoire (tâche de troisième niveau traitée automatiquement). A contrario, en situation complexe comme en milieu urbain, des stratégies ainsi que des tactiques sont requises (tâches de premier et second niveau traitées de manière contrôlée). La pluralité des situations et tâches de conduite avec un niveau de complexité plus ou moins élevé fait donc intervenir des processus de traitement différents.

Keskinen (1996 ; in Engströme, Gregersen, Hernetkoski, Keskinen, & Nyberg, 2003) hiérarchise les tâches de conduites en quatre niveaux. Le niveau le plus élevé dans la hiérarchie constitue les projets de vie et les aptitudes à la vie, et se réfère aux motivations et

objectifs de l'individu au sens large. Ce niveau comprend les compétences individuelles de maîtrise de différentes situations de la vie. Le deuxième niveau concerne les objectifs et le contexte de la conduite. A ce niveau, les conducteur décident pourquoi, où, avec qui, avec quoi et à quel moment ils conduisent. Ils établissent ainsi le choix des itinéraires et de la présence de passagers. Le troisième niveau est la maîtrise des situations de circulation et se réfère à l'adaptation du comportement des conducteurs relativement au comportement des autres conducteurs et à la circulation. Cela nécessite de percevoir et de prévoir le comportement des autres usagers, ainsi que de rendre son propre comportement prévisible pour les autres. La connaissance et le respect des règles de circulation (e.g. respect des limitations de vitesse) constituent une part importante de ces compétences. Enfin, le quatrième niveau le plus bas de la hiérarchie est le maniement du véhicule et se réfère aux compétences élémentaires (e.g., freinage, changement de vitesse, maîtrise du véhicule, etc.).

Les tâches se complexifient avec l'augmentation du nombre d'éléments à traiter cognitivement (Jensen, 1998 ; Stankov, 2000 ; Stankov & Raykov, 1995 ; in Arend, Colom, Botella, Contreras, Rubio, & Santacreu, 2003). Par exemple, des situations de conduite composées de routes sinueuses impliquent des tâches complexes. En effet, conduire dans un virage peut se décomposer en trois sous-tâches (Cavallo, Brun-Dei, Laya, & Neboit, 1988) : 1/ entrer dans le virage en décidant du moment approprié pour tourner le volant et anticiper l'amplitude et la vitesse de sa variation, 2/ poursuivre le virage en maintenant le volant dans la trajectoire tout en effectuant des ajustements directionnels en fonction des exigences de la situation, 3/ sortir du virage en décidant du moment pour redresser le volant et aligner le véhicule avec la trajectoire souhaitée. La complexité de ces sous-tâches allonge le temps de traitement de l'information (Jensen, 1992, 1998 ; in Arend et al., 2003), ce qui rend leur réalisation difficile dans les temps impartis. Le taux de changement d'incurvation de la route sert ainsi de critère objectif pour la difficulté de la tâche (Richter, Wagner, Heger, & Weise, 1998 ; Backs, Lenneman, Wetzel, & Green, 2003 ; in Ba & Zhang, 2011). Cette difficulté peut être estimée à partir des exigences de la tâche qui sont placées en mémoire de travail (Fréard, Jamet, Le Bohec, Poulain, & Botherel, 2007), et plus particulièrement à partir de l'interaction entre les demandes de la situation et la capacité de l'individu à adopter le comportement exigé par ces demandes (Kantowitz, 1987 ; in De Waard, 1996 ; Lewis-Evans & Rothengatter, 2009). Plus la situation est complexe et plus les demandes de la tâche sont importantes, entraînant une hausse de la difficulté (Di Stasi, Renner, Staehr, Helmert, Velichkovsky, Cañas, Catena, & Pannasch, 2010). Fuller (2005) propose ainsi une théorie générale du comportement du conducteur basée sur le modèle d'interface tâche-capacité.

D'après ce modèle, différents niveaux de difficulté de la tâche sont dus à l'interaction dynamique entre les déterminants des exigences de la tâche et les capacités du conducteur à réaliser la tâche. La théorie stipule que le conducteur adapte son comportement en choisissant sa vitesse de conduite afin de maintenir un niveau de difficulté de la tâche adapté à ses capacités et ainsi nécessaire pour maintenir de bonnes performances. Des exigences de la tâche estimées élevées par le conducteur l'inciteront donc à réduire sa vitesse afin d'en abaisser la difficulté par rapport à ses capacités.

2. Expérience de conduite

Le manque d'expérience de conduite déterminée par le nombre de kilomètres parcourus est un facteur accidentogène important, notamment chez les jeunes conducteurs. Les études épidémiologiques nous renseignent particulièrement sur l'impact de deux types d'apprentissages. Le système français a également établi une différence d'apprentissage de la conduite à partir de modalités spécifiques qui seront décrites ici. La question est donc de comprendre les processus de conduite acquis au fur et à mesure de l'expérience, qui ne sont pas totalement acquis chez les jeunes conducteurs novices et qui expliquent ainsi une partie de leurs accidents.

2.1. Accidentologie : données épidémiologiques chez les jeunes conducteurs

La probabilité des jeunes d'être impliqués dans un accident diminue à mesure que s'allonge la durée de possession du permis de conduire (Williams, 2003), avec un risque d'accident plus élevé dans les premiers mois et premiers kilomètres après l'obtention du permis (McKnight, 2006 ; Preusser, 2006). Lors des 8 premiers mois, le nombre d'accidents impliquant des conducteurs novices diminue d'environ 50% (Sagberg, 2000, cité par OCDE, 2006). Dans la mesure où il s'agit d'une courte période, cette évolution ne serait pas liée à l'âge mais plutôt à l'acquisition d'expérience. En effet, le risque d'accident est deux à quatre fois plus élevé chez les conducteurs novices que chez les expérimentés (Triggs, 2004).

Dans plusieurs pays, deux modes d'apprentissage sont en vigueur, i.e. un apprentissage traditionnel vs. un apprentissage progressif, graduel dans le temps. Des différences entre les pays sont notées concernant les modalités du permis progressif. A partir de ces deux profils de novices, il apparaît que l'expérience supplémentaire acquise avec un apprentissage progressif de la conduite permet d'améliorer les connaissances et le comportement, ce qui est suffisant pour réduire le nombre d'accidents par rapport aux conducteurs ayant suivi l'apprentissage traditionnel (McKnight, 2003). La probabilité d'être impliqué dans les premiers mois d'obtention du permis est donc plus importante pour les conducteurs ayant eu un apprentissage traditionnel que pour ceux ayant eu un apprentissage progressif (Sagberg & Bjørnskau, 2006). Ces données sont observables dans différents pays. Aux Etats-Unis et à l'étranger, tous les résultats montrent des effets positifs de l'apprentissage

progressif de conduite avec une moindre fréquence de collisions et de violations par rapport aux autres novices ayant suivi un apprentissage traditionnel (Mayhew & Simpson, 1996). En Nouvelle Zélande (Begg & Stephenson, 2003) et en Ontario au Canada (Simpson, 2003), l'apprentissage progressif réduit le nombre d'accidents parmi les conducteurs novices, et ce quel que soit l'âge. En Suède, on observe une baisse de 40% d'accidents chez les jeunes de 16 ans ayant suivi un apprentissage progressif (Gregersen, Berg, Engstrom, Nolen, Anders, & Per-Arne, 2000). Une telle diminution est également observable en Norvège (Sagberg, 2002). Une étude contradictoire n'a révélé aucun effet du type d'apprentissage sur le nombre d'accidents (Page, 1995). Avant les années 1990, aucun effet positif de l'apprentissage progressif n'était démontré. Ce n'est qu'à partir des années 2000 que les études ont révélé une efficacité de l'apprentissage progressif avec des bénéfices sécuritaires par rapport à l'apprentissage traditionnel (Simpson, 2003). En France, un système similaire à celui de l'apprentissage progressif de la conduite a été mis en place, avec ainsi différents profils d'expériences à distinguer.

2.2. Profils d'expérience de jeunes conducteurs en France

De nos jours en France, l'apprentissage de la conduite est mis en place avec des systèmes à phase unique et un permis probatoire. Ces systèmes comportent une étape de formation théorique (code de la route) et une étape de formation pratique, chacune finalisée par un examen. Deux dispositifs peuvent être choisis lors de l'apprentissage à phase unique, i.e. apprentissage traditionnel ou anticipé de la conduite.

L'Apprentissage Traditionnel (AT) de la conduite se déroule tout d'abord avec la formation théorique permettant d'accéder à l'examen du code de la route. Ensuite, la formation pratique contient un minimum de 20h de conduite effective avec le moniteur d'auto-école et permet de passer le permis de conduire. L'âge minimum requis pour l'obtention du permis est de 18 ans.

Pour contribuer à lutter contre la sur-implication des conducteurs novices dans les accidents de la route, et après concertation nationale en 1988, la France a mis en place une réforme du système de formation à la conduite avec la possibilité de suivre un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC) dès 16 ans. L'AAC se situe comme une étape d'un système d'accès graduel à la conduite. Cet apprentissage comprend une formation initiale en auto-école, équivalente à celle de l'apprentissage traditionnel, à l'issue de laquelle est délivrée une

attestation de fin de formation. Le niveau est alors estimé équivalent à ceux des jeunes ayant suivi une formation traditionnelle (Damm, Nachtergaële, Meskali, & Berthelon, 2011). Ensuite, une expérience complémentaire est acquise. Elle consiste à conduire avec un adulte (accompagnateur) durant un minimum de 3000 kms. L'accompagnateur doit avoir au moins 28 ans et être détenteur du permis de conduire depuis 3 ans minimum. Parallèlement, des réunions pédagogiques sont organisées avec l'auto-école. La présentation au permis de conduite final s'effectue ensuite, toujours à partir de 18 ans.

Après réussite des examens, le permis de conduire est obtenu sous certaines restrictions durant une période probatoire (Engströme et al., 2003) de trois ans après un Apprentissage Traditionnel de la conduite (AT), et de deux ans après un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC). Un jeune qui obtient son permis à 18 ans est ainsi considéré comme novice jusqu'à l'âge de 21 ans ou de 20 ans. Le permis probatoire a été instauré le 1^{er} mars 2004, avec un permis de conduire de 6 points. Si le conducteur novice n'a commis aucune infraction, ce n'est qu'à partir de la fin du permis probatoire qu'il se verra attribué un permis de conduire de 12 points. Des restrictions concernant les limitations de vitesse sont également à suivre durant la période probatoire (maximum 110 km/h sur autoroute limitée à 130 km/h, maximum 100 km/h sur autoroute limitée à 110 km/h et maximum 80 km/h sur route limitée à 90 km/h).

Trois profils de jeunes conducteurs peuvent ainsi nuancer les différents niveaux d'expérience, à savoir les jeunes novices ayant eu un apprentissage traditionnel de la conduite, ceux ayant eu un apprentissage anticipé de la conduite, et ceux arrivant à la fin du permis probatoire. A partir des données épidémiologiques sur les accidents et des différents profils d'expérience observés en France, nous pouvons nous demander comment l'expérience permet d'améliorer les performances de conduite.

2.3. Processus expliquant les accidents des conducteurs novices

D'après la théorie de l'action raisonnée (Fishbein & Ajzen, 1975), le comportement de conduite est rationnel et orienté vers un objectif. Il s'effectue sur la base de tendances innées ou acquises qui dirigent les actions en fonction des contraintes situationnelles, des états émotionnels ainsi que des facteurs cognitifs et conatifs (motivations à adopter une conduite) (Nallet, 2009). Il existe donc des déterminants comportementaux de l'« *accident proneness* » au sens général du terme (pas seulement routier). En France, les auteurs parlent de disposition

ou de « prédisposition » à l'accident pour ensuite remplacer ces termes dans les années 1990 par « comportement de base » (Nallet, 2009). Le conducteur met en place ses propres règles de conduite, à la fois légales et informelles, auxquelles il se conforme généralement. Ce courant de pensée introduisant la notion de « comportement de base » s'appuie sur le fait que les comportements deviennent davantage stables dans le temps (Miller & Schuster ; 1983 ; in Nallet, 2009). Les règles de conduite sont ainsi acquises au fur et à mesure de l'expérience et intégrées dans des schèmes mentaux (action organisée, structurée et généralisable d'une situation à l'autre) de la mémoire à long terme. Dans les premiers temps, les nombreuses situations nouvelles auxquelles les conducteurs novices sont confrontés exigent une forte mobilisation de leurs ressources mentales car ils ne peuvent pas se référer à des schèmes mentaux et doivent par conséquent réfléchir au comportement à adopter. Pour les novices, la recherche visuelle, l'interprétation de ce qu'il se produit autour du véhicule ainsi que le maniement du véhicule sont des exemples de tâches qui exigent de grandes capacités mentales afin de coordonner les actions nécessaires (Engströme et al., 2003).

Par ailleurs, le niveau d'expérience module les effets de la tâche sur le mode de traitement de l'information (contrôlé vs automatique). Les conducteurs novices ont un faible niveau d'automatisation de la tâche de conduite (Patten, Kircher, Östlund, Nilson, & Svenson, 2006) dans la mesure où la mise en place du traitement automatique se réalise au fur et à mesure de la pratique. La théorie de l'acquisition des compétences que présente le modèle « Skill Rule Knowledge » (SRK ; Rasmussen, 1984) indique en effet une succession d'étapes de contrôle du comportement avec de l'expérience. Le comportement est d'abord basé sur les **connaissances** acquises par des expériences antérieures et par le code de la route, puis il est basé sur les **règles** (savoir-faire intégré dans des modèles mentaux) pour en dernier lieu se baser sur les **compétences** (automatisation des règles). Lorsque le comportement est basé sur les connaissances puis sur les règles, le traitement de l'information est plutôt contrôlé (Verster & Roth, 2012). Ce n'est qu'avec l'expérience qu'il se base sur les compétences avec une automatisation de la tâche (Schneider & Shiffrin, 1977). Au fur et à mesure de l'expérience, le processus d'automatisation s'effectue avec un apprentissage par « essais et erreurs » (Mayhew, 2007). Par conséquent, les conducteurs novices n'ont probablement pas encore parfaitement acquis les connaissances ni les compétences pour effectuer les quatre niveaux de tâches de conduite sans difficulté. Lorsque les connaissances sont organisées dans des schèmes mentaux de conduite (actions organisées, structurées et généralisables d'une situation à l'autre, stockées en mémoire à long terme), les tâches sont automatisées (Tricot, 1998) et l'anticipation des risques latents ou cachés est améliorée. Cela permet aux plus expérimentés

de percevoir les situations potentiellement dangereuses plus rapidement que les novices (Soliday & Allen, 1972 ; Ahapalo et al., 1987 ; Quimby & Watts, 1981 ; Finn & Bragg, 1986 ; in Engströme et al., 2003). L'expérience de conduite tend donc à automatiser les tâches habituelles et à favoriser l'anticipation des risques. Une même tâche devrait donc être perçue de moins en moins difficile au fur et à mesure de l'expérience (De Waard, 1996), tout en considérant que d'après le biais d'optimisme, les novices ont tendance à surestimer leurs capacités et à sous-estimer la difficulté de la tâche (McKenna, 1993). A l'inverse, les expérimentés ont davantage été confrontés à différentes situations complexes et ont donc une meilleure conscience de la situation (Underwood, Chapman, Bowden, & Crundall, 2002). Par conséquent, avec l'augmentation de la complexité des situations de conduite, les dégradations de performances devraient respectivement être plus précoces pour les novices avec un AT, les novices avec un AAC, les conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire et les conducteurs plus expérimentés.

CHAPITRE 2 : Liens entre les facteurs accidentogènes

1. Surcharge : impact de la situation de conduite et de l'expérience

1.1. Impact de la complexité des situations de conduite

Tout d'abord, plusieurs distinctions sont à réaliser concernant des termes, souvent proches mais bien distincts, utilisés dans la littérature, i.e. ressources, effort, coût, charge cognitive, charge de travail, charge mentale et charge physique. Les ressources cognitives (énergie mentale disponible au moment de la réalisation d'une tâche) sont mobilisables en fonction de la capacité d'un individu (quantité maximale de ressources). L'effort fourni mobilise les ressources nécessaires pour réaliser une tâche et entraîne ainsi des coûts en termes d'activation sympathique (e.g., dilatation de la pupille ; Kahneman, 1973). L'effort est un processus volontaire sous le contrôle de l'individu (Brookhuis & De Waard, 2010 ; Hockey, 1993), tandis que la charge de travail dépend à la fois des caractéristiques de la tâche et des capacités de l'individu (Brookhuis & De Waard, 2010 ; Chanquoy, Tricot, & Sweller, 2007). La charge de travail constitue ainsi le résultat de l'interaction entre les tâches demandées et l'état fonctionnel de l'individu (Hockey, 2003). La charge de travail peut être mentale et/ou physique. La charge mentale, également appelée charge cognitive (Chanquoy et al., 2007), peut être définie d'une part comme l'interaction entre les structures des systèmes et des tâches, et d'autre part comme l'interaction entre les compétences, les motivations et l'état de l'individu. La charge physique correspond plutôt au travail musculaire effectué en fonction des tâches demandées (Hockey, 2003).

La situation de conduite constitue le déterminant majeur de la charge de travail du conducteur (Verwey, 2000), évaluée en fonction de la difficulté perçue de la tâche (Gopher & Donchin, 1986 ; in De Waard, 1996). Le modèle de Meister (1976) permet ainsi d'établir la relation entre des situations plus ou moins demandeuses (niveau d'exigence) et les performances, par l'intermédiaire de la charge de travail (cf. Figure 1). Les performances représentées par la vitesse ainsi que la précision dans l'accomplissement de la tâche (Bruni, 1995 ; in Hadj-Mabrouk, Hadj-Mabrouk, & Dogui, 2001) sont très bonnes en région A (demandes moyennes) puis diminuent en région B (demandes élevées) pour atteindre un très

faible niveau en région C (demandes très élevées). Ce modèle peut être complété par une région D pour Désactivation correspondant à de très faibles demandes lors de tâches monotones (e.g. longues autoroutes) qui, de par l'ennui qu'elles provoquent, réduisent les capacités de l'individu. Aucun effort n'est alors possible face à la difficulté de la tâche et à l'augmentation de la charge de travail qui est accompagnée d'une forte détérioration des performances. De plus, la région A peut se diviser en trois parties en fonction de l'effort investi (De Waard, 1996). En A1, la monotonie des tâches favorise un traitement automatique de l'information et crée ainsi un état de somnolence qui diffère de manière trop importante de l'état demandé. A la différence de la région D, l'individu peut fournir un effort compensatoire important (relié à l'état) afin de rester vigilant. Les performances peuvent donc être maintenues malgré la hausse de la charge de travail. En A2, l'augmentation des demandes (e.g., routes rurales) permet de maintenir des performances avec peu d'effort. En A3, la forte augmentation des demandes (e.g., routes urbaines) requiert un effort computationnel important (relié à la tâche) pour traiter le grand nombre d'informations de manière contrôlée et pour effectuer correctement les tâches de stratégie (1^{er} niveau) et de manœuvre (2^e niveau) d'après le modèle de la hiérarchie des tâches (Michon, 1985).

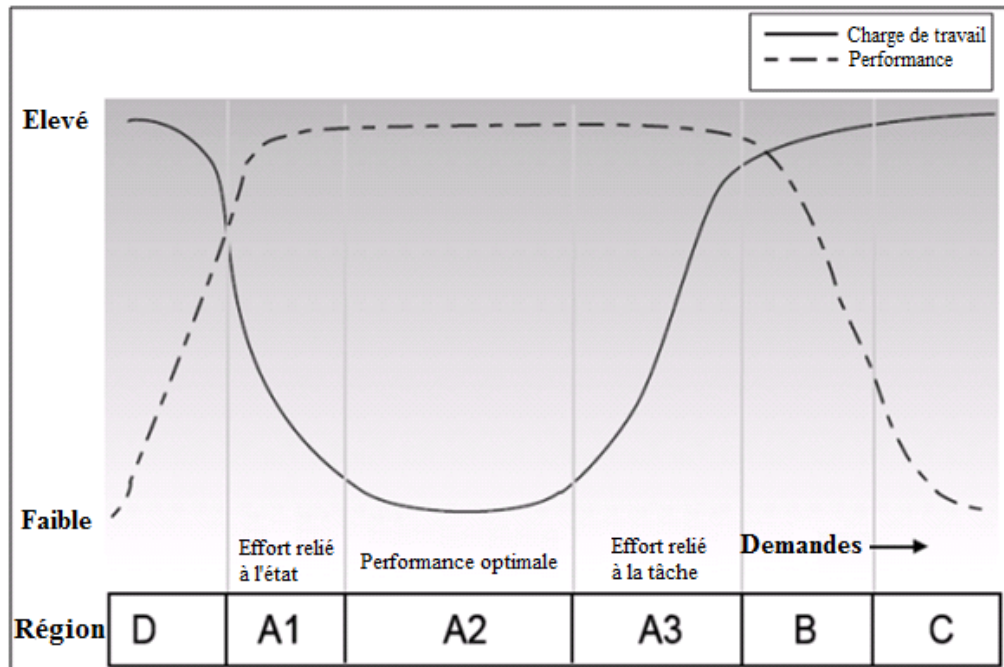


Figure 1. Performances et charge de travail en fonction des demandes.

Ainsi, en situation moyennement demandeuse (région A), l'effort investi permet de maintenir de bonnes performances. Plusieurs études n'ont révélé aucun effet de la complexité

de la situation sur la charge de travail subjective, probablement car les situations n'étaient pas suffisamment demandeuses et les performances des conducteurs, tous expérimentés, ne variaient pas (De Waard, 1991) ou s'amélioraient (Jessurun, De Waard, Raggatt, Steyvers, & Brookhuis, 1993; De Waard, Jessurun, Steyvers, Raggatt, & Brookhuis, 1995) même avec la hausse de complexité. Cependant, une étude a révélé des détériorations des performances (Jessurun, Steyvers, De Waard, Dekker, & Brookhuis, 1990) pouvant être dues à une forte mobilisation non perçue des ressources. Dans ces situations moyennement complexes, une certaine élasticité dans la disponibilité des ressources permettait probablement d'augmenter leur mobilisation malgré l'augmentation de la charge de travail (Kahneman, 1973). En effet, un compromis cognitif peut être réalisé de manière à n'utiliser que certaines ressources afin de mobiliser un effort cognitif adapté à la tâche demandée. Cela permet ainsi de garantir des performances relativement stables durant la tâche, tout en gardant des ressources pour des activités parallèles (Hoc & Amalberti, 2007). De plus, des stratégies compensatoires peuvent être mises en place dans le but de réduire le niveau de charge et de maintenir de bonnes performances. Par exemple, les conducteurs peuvent réduire leur vitesse pour avoir le temps de traiter l'ensemble des informations nécessaires à leur déplacement. Cette stratégie s'avère efficace car elle n'entraîne pas de détérioration des performances (Cnossen, Rothengatter, & Meijman, 2000), voir même une amélioration des performances malgré la hausse de la charge (Brookhuis, De Vries, & De Waard, 1991; De Waard, Van der Hulst, & Brookhuis, 1999).

Contrairement aux situations moyennement demandeuses, les régions D et C représentent une surcharge de travail avec une charge de travail évaluée comme trop élevée concernant l'effort à fournir et entraînant une dégradation des performances. En région D, la difficulté de la tâche est trop importante pour que l'individu puisse fournir un effort suffisant pour la réaliser. En région C, les demandes de la tâche sont trop élevées et toutes les informations ne peuvent pas être prises en considération simultanément car la mémoire de travail d'un individu est caractérisée par une capacité limitée (Broadbent, 1958 ; Kahneman, 1973 ; Posner, 1978 ; Wickens, 1984 ; in De Waard 1996). Deux modèles l'expliquent. Premièrement, le modèle de la charge de travail avec une ressource unique de Moray (1967 ; in Ryu & Myung, 2005) stipule que chaque individu a une capacité de traitement limitée dans la mesure où les activités mentales partagent un même ensemble de ressources. Avec l'augmentation du niveau d'exigence de la tâche, le fonctionnement du système nerveux central s'accélère afin d'augmenter les ressources nécessaires à l'exécution de la tâche. Certaines mesures physiologiques ne permettent cependant pas d'observer l'augmentation de la charge de travail. Deuxièmement, la théorie des ressources multiples de Wickens (1984)

explique l'existence de différentes catégories de ressources en fonction 1) de la modalité d'encodage ou de restitution des informations empruntant le canal visuel, auditif, etc., 2) du traitement des codes, et 3) de l'exécution de la réponse. Lorsque la tâche fait appel à des ressources similaires, i.e. plusieurs traitements passant par un même canal, les traitements mis en œuvre rentrent en compétition et la charge de travail augmente. La capacité à accomplir plusieurs tâches simultanément dépend alors de la quantité et du mode de traitement imposé par les tâches.

De plus, si le traitement est automatique, la tâche demande peu de ressources et il est possible de la combiner avec une autre tâche. A contrario, si le traitement est contrôlé, la tâche demande beaucoup de ressources et il est impossible de réaliser plusieurs tâches simultanément. Par conséquent, durant les situations très complexes, l'activité peu automatisée engendre une forte mobilisation des ressources mentales (Gaillard, 1993) pour répondre aux exigences de la tâche (De Waard, 1996) et le niveau de charge de travail peut ainsi excéder les ressources disponibles nécessaires pour la réaliser (Hockey, 1997) jusqu'à atteindre un niveau de surcharge et un effort demandé trop élevé par rapport aux capacités cognitives de l'individu. Lorsque la surcharge est atteinte, le traitement de certaines informations peut être reporté, voir non effectué (Ryu & Myung, 2005). Cela dépend de la stratégie d'adaptation mise en place pour faire face aux demandes de la tâche. L'individu peut accepter un faible niveau de performance ou totalement renoncer à effectuer la tâche (Meijman & O'Hanlon, 1984 ; in De Waard, 1996). En effet, plusieurs études ont montré que les situations très complexes menaient à une hausse subjective de la charge de travail et à des dégradations de performances (De Waard, Brookhuis, & Hernandez-Gress, 2001; Baldauf, Burgard, & Wittmann, 2009). Contrairement à l'effet attendu, deux autres études ont montré que la complexité élevée de la situation provoquait une baisse subjective de la charge de travail ainsi qu'une amélioration des performances de conduite (Steyvers & De Waard, 2000; Horberry, Anderson, & Regan, 2006). Ici, les situations simples de conduite sans marquage au sol ou avec une visibilité limitée du marquage au sol comprenaient moins d'éléments à traiter que les situations complexes avec une bonne visibilité du marquage. Cependant, ce dernier constituait un indice de guidage pour le conducteur et son absence conduisait à une hausse de la charge et à des dégradations de performance. Les éléments ajoutés (marquage au sol) facilitaient donc le traitement de l'information au lieu d'ajouter une charge supplémentaire. Par conséquent, les situations complexes ne se réduisent pas au nombre d'éléments présents mais sont liés à la fonction de ces éléments par rapport à la tâche.

De plus, en situation de conduite, des événements dangereux peuvent faire varier la charge de travail et les performances. En effet, les données des Etudes Détaillées d'Accidents (EDA) recueillies par le Laboratoire Mécanismes d'Accidents (LMA) de l'IFSTTAR à Salon-de-Provence montrent que des événements inattendus, tels que la traversée soudaine d'un piéton, sont inclus dans les scénarii prototypiques d'accidents (Damm et al., 2011). Face à un tel événement dangereux avec une forte pression temporelle, réagir à temps pour éviter l'utilisateur vulnérable devient difficile. Parmi plusieurs configurations d'accidents dus à l'apparition soudaine d'un piéton, les plus accidentogènes se caractérisent par la traversée d'un piéton dont la trajectoire est plus ou moins perpendiculaire à celle d'un véhicule (Wisch, Seiniger, Pastor, Edwards, Visvikis, & Reeves, 2013). Plusieurs stratégies peuvent être adoptées pour éviter l'accident, i.e. freiner, faire un écart, faire une combinaison des deux (frein et écart), et anticiper l'apparition dangereuse en effectuant une manœuvre d'évitement en avance. D'après une revue de la littérature sur les manœuvres d'évitement (Adams, 1994), la stratégie de freinage est la plus fréquemment observée bien que le fait de réaliser un écart ou de combiner un freinage et un écart soit plus efficace que le freinage seul. Au vu de ces éléments, face à une soudaine traversée de piéton, la complexité de la situation devrait augmenter la charge de travail et détériorer les performances à cause de stratégies d'évitement inappropriées.

Pour les conducteurs expérimentés, la surcharge de travail (hausse de la charge de travail subjective détériorant les performances) n'apparaît que lorsque la complexité des situations est très élevée. Une différence devrait donc s'observer pour les jeunes conducteurs novices, avec une surcharge plus précoce que pour les expérimentés.

1.2. Impact de l'expérience de conduite

La charge de travail engendrée par les tâches de conduite est étroitement liée au processus d'apprentissage et à l'acquisition de l'expérience (Engströme et al., 2003). Pour les conducteurs novices, l'activité de conduite représente un niveau de charge de travail élevé (Sweller, 1993 ; Sweller et al., 1998 ; Wickens & Hollands, 2000 ; in Patten et al., 2006) qui diminue avec l'acquisition des compétences cognitives et motrices requises (Rasmussen, 1980, 1987 ; in Patten et al., 2006). Avec la complexité de la situation, la mise en œuvre contrôlée de stratégies et de tactiques devrait davantage s'observer pour les conducteurs

novices que pour les expérimentés, avec un coût mental particulièrement élevé dans les situations nouvelles auxquelles les novices n'ont jamais été confrontés lors de leur apprentissage (Damm et al., 2011). Lors d'une activité identique, les conducteurs expérimentés peuvent ainsi percevoir la charge de travail comme étant faible tandis que les conducteurs novices la perçoivent comme étant élevée, n'ayant pas encore acquis les capacités des expérimentés. Les novices devraient donc percevoir une charge de travail élevée plus précocement que les expérimentés au fur et à mesure que la complexité de la situation augmente.

Cette charge travail plus élevée pour les novices dans une situation de conduite donnée peut expliquer les résultats d'études épidémiologiques montrant que les jeunes novices ont un risque d'accident deux à quatre fois plus élevé que les expérimentés (Triggs, 2004). Le taux d'accidents initialement très élevé décroît rapidement pendant les premiers mois de conduite (Mayhew et al., 2003), et les premiers kilomètres après l'obtention du permis (McKnight, 2006 ; Preusser, 2006), puis continue de diminuer à mesure que s'allonge la durée de possession du permis de conduire (Williams, 2003). Les tâches de niveau opérationnel (voir Michon, 1971, 1985 ; in De Waard, 1996) demandant un contrôle du véhicule sont particulièrement difficiles pour les novices (Engströme et al., 2003) qui n'ont pas encore automatisé ces routines de conduite (Engströme et al., 2003 ; Fuller, 2002 ; Groeger, 2000 ; Rasmussen, 1986 ; in De Craen, Twisk, Hagenzieker, Elffers, & Brookhuis, 2008). D'après la théorie de l'action raisonnée (Fishbein & Ajzen, 1975 ; in Engströme et al., 2003), ces situations jugées difficiles par les novices engendrent un comportement rationnel et orienté vers un objectif différent de celui des expérimentés. En effet, le modèle du processus de calibration (De Craen et al., 2008) (cf. Figure 2) montre que des stratégies d'adaptation sont mises en place en fonction des caractéristiques de la situation et du conducteur, et plus particulièrement de la perception de la complexité de la situation, de la demande de la tâche ainsi que des capacités cognitives (Kuiken & Twisk, 2001 ; Mitsopoulos et al., 2006 ; in De Craen et al., 2008).

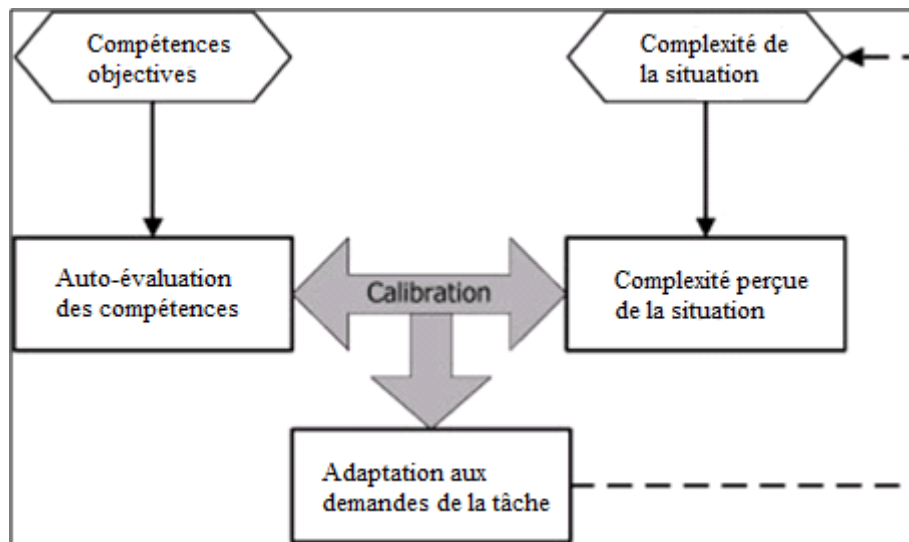


Figure 2. Modèle de travail du processus de calibration.

Par ailleurs, les novices ont souvent une mauvaise appréciation de la situation et mettent en place des stratégies compensatoires tardivement (Brown & Groeger, 1988 ; Brown et al., 1987 ; Gregersen, 1995 ; Mayhew & Simpson, 1995 ; in De Craen et al., 2008). En effet, lorsqu'ils réduisent leur vitesse afin de réduire la charge de travail subjective (De Craen et al., 2008), la régulation temporelle pour traiter les informations ne leur permet pas d'avoir de bonnes performances dans la mesure où ils sont déjà surchargés. L'étude de De Craen et al. (2008) a ainsi démontré que parmi des conducteurs novices et expérimentés, seuls les expérimentés estimaient qu'ils adopteraient une stratégie de réduction de vitesse avec l'augmentation de la complexité de la situation. Une autre étude a également montré que la complexité de la situation dégradait les performances de l'ensemble des conducteurs avec tout de même de meilleures performances pour les expérimentés que pour les novices. Les expérimentés anticipaient davantage et plus précocement que les novices en mettant en œuvre la stratégie compensatoire de réduction de vitesse de manière plus efficace (Damm et al., 2011). De plus, ils ont tendance à conduire plus rapidement que les expérimentés (Engströme et al., 2003 ; Quimby & Watts, 1981 ; in De Craen et al., 2008) dans les situations complexes qui requièrent pourtant des compétences qu'ils n'ont pas encore totalement acquises. Ce comportement peut s'expliquer par le biais d'optimisme caractérisé par une surévaluation de leurs compétences et une sous-évaluation de leur risque d'accident (McKenna, 1993). A l'inverse, les expérimentés adaptent leurs stratégies en augmentant la prise d'informations sur le plan horizontal (Crundall & Underwood, 1998 ; Patten et al., 2006) et peuvent ainsi traiter davantage d'informations. Leurs stratégies de prise d'informations visuelles sont davantage efficaces et souples que celles des novices (Falkmer & Gregersen, 2001 ; in Engströme et al.,

2003). En effet, les novices surveillent le premier plan devant le véhicule et cette stratégie reste rigide et peu adaptée lors de situations de conduite complexes. La stratégie des expérimentés s'avère donc utile pour maintenir de bonnes performances malgré une charge de travail élevée. Cela leur permet d'avoir une préparation cognitive, nécessaire pour anticiper les situations déjà rencontrées, et de prendre une décision efficace avec un maintien des performances (Cegarra & Van Wezel, 2012).

Une étude a montré que la charge de travail subjective n'était pas influencée par la complexité de la situation ni par l'expérience (Patten et al., 2006). Une autre étude réalisée sur ordinateur (Di Stasi, Antoli, & Cañas, 2011) n'a révélé aucun effet de l'expérience sur la charge de travail subjective et les performances. Toutefois, en règle générale, la plupart des études ont révélé que la complexité de la situation augmentait la charge de travail subjective et détériorait les performances, avec souvent un niveau de charge plus faible et des performances meilleures pour les expérimentés que pour les novices. On peut néanmoins se demander si la prédisposition à la surcharge ne dépend pas également de l'état interne des individus.

2. Etat interne modulant la surcharge

2.1. Etat interne : liens entre tension et vigilance

D'après le modèle d'activation de Thayer (1986), l'individu se situe sur un continuum d'énergie avec une activation physiologique allant de l'excitation au sommeil profond en fonction des rythmes circadiens, de l'activité cognitive, de l'exercice physique et de la valence affective. L'activation générale se réfère ainsi à la libération d'énergie de l'organisme (Duffy, 1962 ; in Thayer, 1967) et constitue l'état interne d'un individu. Quatre dimensions de l'activation générale ont été différenciées sur la base de comportements variés chez un même individu : 1/ Activation Générale: énergie-vigueur, 2/ Désactivation Générale: sommeil-fatigue, 3/ Activation élevée: tension, et 4/ Désactivation Sommeil: placidité. Les deux composantes auxquelles nous nous intéressons sont la vigilance et la tension.

La vigilance subjective correspond au message entre le système circadien et la part de conscience de l'individu (Monk, 1991). Ce dernier peut ainsi percevoir différents états de vigilance qui varient le long d'un continuum allant du sommeil aux états de veille active, en passant par des états de veille diffuse et de veille attentive (Grau & Amalberti, 1995). Le concept de vigilance est donc à dissocier des concepts de fatigue et d'attention. En effet, la fatigue est particulièrement reliée à une tâche, qu'elle soit physique et reliée au travail musculaire, ou mentale avec une expérience subjective de la réticence à continuer l'exécution d'une tâche (Brown, 1994). Par ailleurs, l'attention se différencie de la vigilance en étant définie comme une instance de contrôle et d'orientation de l'activité (Richard, 1980). Dans le modèle de Thayer (1986), le niveau de vigilance est calculé à partir du rapport entre les dimensions Activation Générale et Désactivation Sommeil.

Dans ce modèle, la tension représente la composante physiologique de l'anxiété, i.e. principal indicateur de la première évaluation signalant la demande perçue ou la menace de l'environnement (Lazarus & Folkman, 1984). Contrairement au stress qui correspond à une réaction physiologique face à un stimulus (Selye, 1936), la tension présente un lien étroit avec la vigilance, étant définie comme la combinaison de l'anxiété et de la fatigue (Watson & Tellegan, 1985 ; in Robert & Hockey, 1997). Ainsi, la tension devrait d'une part varier avec l'anxiété subjective et d'autre part avec le niveau de fatigue selon le moment de la journée et les tâches effectuées. Lors de la réalisation d'une tâche moyennement demandeuse, les ressources énergétiques sont moyennement mobilisées pour maintenir un certain niveau de

vigilance. Ainsi, les ressources énergétiques restant permettent de maintenir le niveau de tension. Ainsi, la tension et la vigilance augmentent (corrélation positive), avec un niveau d'activation générale relativement moyen. Cependant, lorsque les demandes de la tâche sont élevées et exigent une forte libération d'énergie générale, la corrélation entre la vigilance et la tension devient négative. En fonction du type de tâches et des individus, l'activation de l'organisme dédiée à maintenir un haut niveau de vigilance laisse peu de ressources énergétiques pour la tension. Et inversement, si la libération d'énergie est déployée pour un haut niveau de tension, l'énergie investie pour la vigilance est moindre.

L'état interne peut avoir une influence sur la charge de travail subjective et les performances avec des effets distincts de la tension et de la vigilance. Les modèles théoriques se sont davantage intéressés au concept d'anxiété qu'à celui de la tension. En effet, pléthore de théories tentent d'expliquer les mécanismes déterminant les effets de l'anxiété sur les performances, par l'intermédiaire de la charge de travail caractérisée par l'effort fourni lors de la réalisation d'une tâche.

2.2. Anxiété

2.2.1. Impact de la complexité des situations de conduite

Certaines situations complexes peu communes et demandant une grande flexibilité du comportement seraient davantage anxiogènes que d'autres. En effet, les situations avec de mauvaises conditions climatiques ainsi que celles comprenant des interactions avec d'autres conducteurs (e.g., ralentir puis freiner en fonction des autres véhicules) provoquaient une hausse subjective d'anxiété (Hill & Boyle, 2007). Cependant, aucun effet n'était observé concernant les situations avec des tâches de manœuvres aux intersections, des routes de montagnes, ou une visibilité limitée, i.e. de nuit ou conduite proche d'un camion. Dans les situations anxiogènes, l'anxiété peut se manifester par un état dans lequel l'individu est incapable d'initier un comportement pour enlever ou modifier l'évènement, l'objet (ou leur interprétation menaçante) et l'objectif existant (Power & Dalgleish, 1997 ; in Derakshan & Eysenck, 2009). L'état d'anxiété se manifeste ainsi par une absence d'action avec une incapacité à reprendre le contrôle rapidement (Madhavan, Wiegmann, & Lacson, 2006 ; in Cai & Lin, 2011). Une étude a démontré que les individus anxieux peuvent en avoir conscience : le groupe ayant peur en conduite avait un niveau subjectif d'anxiété

suffisamment élevé pour diminuer l'auto-estimation de ses performances de conduite, comparativement au groupe contrôle dont le niveau d'anxiété était trop faible pour dégrader ses performances auto-estimées (Taylor, Deane, & Podd, 2007). Les individus se percevant anxieux étaient donc conscients que cela pouvait affecter leurs performances. Leur comportement est ainsi souvent considéré comme inapproprié, imprudent et dangereux (Matthews et al., 1998 ; Taylor, Deane, & Podd, 2007 ; in Clapp, Olsen, Danoff-Burg, Hagewood, Hickling, Hwang, & Beck, 2011). Cela se manifeste par une augmentation des transgressions de la réglementation (Simon & Corbett, 1996 ; in Hill & Boyle, 2007) menant à des risques d'accidents (Beirness, 1993 ; in Hill & Boyle, 2007). De plus, les différents états physiologiques que provoque l'anxiété (e.g. tension musculaire) altèrent directement les performances motrices (James, Pearson, Girffith & Newbury, 1977 ; in Fairclough, Tattersall, & Houston, 2006). Un haut niveau d'anxiété peut donc augmenter le nombre d'accidents sur la route (Dula, Adams, Miesner, & Leonard, 2010), notamment chez les jeunes conducteurs qui n'ont pas suffisamment acquis de compétences en conduite pour éviter les accidents, ou qui font le choix de stratégies négatives de gestion de l'anxiété provoquant des comportements à risque (Sobel & Underhill, 1976). Cependant, d'après le modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson (1908), un niveau moyennement élevé d'anxiété est nécessaire afin d'optimiser les performances en étant prêt à réagir à temps face à la situation anxiogène, tandis qu'un niveau trop élevé d'anxiété détériore les performances (voir Figure 3).

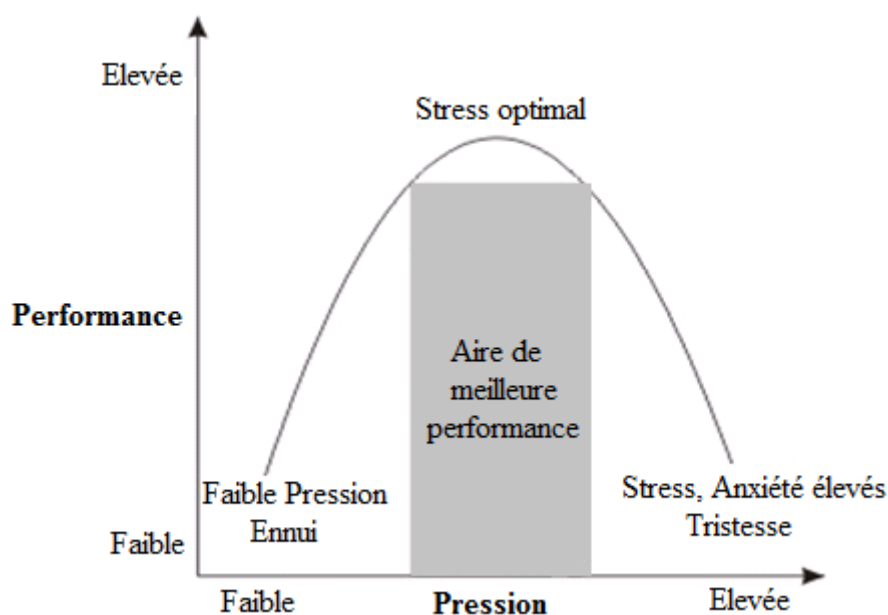


Figure 3. Relation en U renversé entre pression et performance.

Pléthore de théories tentent d'expliquer les mécanismes déterminant les effets de l'anxiété sur les performances, parfois par l'intermédiaire de la charge de travail. Cinq de ces théories sont décrites ici.

➤ *Modèle transactionnel de l'anxiété*

Premièrement, le modèle de Lazarus et Folkman (1984) considère l'anxiété comme une transaction, une relation bidirectionnelle entre l'individu et les demandes environnementales (facteurs personnels et contextuels). Les situations complexes deviennent anxiogènes à partir du moment où l'individu les évalue comme dépassant ses ressources, i.e. ses capacités à y faire face. Un haut niveau de charge de travail associée à ces situations peut donc faire diminuer l'auto-évaluation des capacités à gérer les facteurs anxiogènes, et également générer une hausse de l'anxiété perçue (Lazarus, 1999 ; in Cottrell & Barton, 2012). L'éventuelle menace perçue et le niveau subjectif d'anxiété déterminent la manière dont l'individu adapte son comportement. L'évaluation cognitive de la situation détermine ainsi la réponse d'anxiété qui provoque une modification dans l'utilisation des habiletés de conduite (psychomotrices, perceptives et cognitives). Les symptômes peuvent se manifester de manière émotionnelle (e.g., l'anxiété), physiologique (e.g., augmentation du rythme cardiaque), ou encore comportementale (e.g., stratégies de gestion de l'anxiété centrées sur l'action ou sur l'émotion). Ces symptômes d'anxiété augmentent le risque d'accidents. En effet, une étude a démontré que l'induction de l'anxiété, i.e. préparation d'un discours, augmentait l'anxiété subjective qui à son tour faisait diminuer la distance de freinage au passage signalé d'un piéton. A contrario, l'induction de relaxation, i.e. musique, diminuait l'anxiété subjective qui n'avait alors aucun effet sur la distance de freinage (Morton & White, 2012). L'anxiété subjective entraînait donc un comportement de conduite plus risqué. Ce modèle transactionnel a l'avantage de prendre en considération les différences individuelles avec les facteurs personnels tels que l'expérience subjective. Cependant, il ne permet pas d'expliquer comment les demandes environnementales peuvent affecter le comportement à long terme, et ne met pas l'accent sur l'effort investi durant la réalisation de la tâche anxiogène.

➤ *Théorie dynamique d'adaptation*

Deuxièmement, la théorie dynamique d'adaptation d'Hancock et Warm (1989) explique davantage les effets combinés de la charge de travail et de l'anxiété subjectives sur la réponse adaptative à long terme, au moyen de trois composants : 1/ l'input : demandes environnementales incluant la tâche et deux dimensions de l'information, à savoir sa structure (organisation spatiale) et son taux (durée), 2/ l'adaptation : réponse générale de l'organisme face à l'input (e.g., libération d'hormones d'anxiété, mécanismes d'excitation, évaluation et ajustement) avec trois modes d'adaptation possibles : la stabilité dynamique (adaptation réussie face aux demandes), l'instabilité dynamique (adaptation vulnérable à l'échec face aux demandes), et la transition entre ces états de stabilité et d'instabilité dynamiques, 3/ l'output : réponse psychomotrice de l'organisme qui dépend de l'adaptation de l'individu. Cette théorie se base sur le concept de régulation. D'après Kahneman (1970 ; in Robert & Hockey, 1997), lorsque la situation est anxiogène ou que l'individu est en surcharge de travail, il peut maintenir de bonnes performances en réalisant une régulation par l'effort. Cet effort implique un coût pour l'organisme qui utilise des ressources énergétiques supplémentaires. Au contraire, d'après Hockey (1986), deux modes de régulation sont possibles, avec et sans effort, et sont gérés par un système d'auto-régulation du comportement afin d'atteindre un état d'homéostasie, i.e. de bien-être. Le modèle élaboré par la suite (Robert & Hockey, 1997) décrit ainsi deux boucles : 1) la boucle A ne demande presque pas d'effort ni de régulation pour réaliser la tâche car le traitement des informations s'effectue de manière quasi automatique, 2) la boucle B demande un effort et une stratégie de compensation face à de fortes exigences de la situation. Dans la théorie dynamique d'adaptation, ce dernier mode de régulation fait entrer l'individu dans la zone d'instabilité. Des situations anxiogènes, comme la réalisation d'une tâche automatisée monotone (Rubio, Díaz, Martín, & Puente, 2004) ou d'une tâche très complexe, peuvent stimuler l'effort compensatoire (Hockey, 1986). Cela se manifeste par une hausse de la charge de travail et de l'anxiété subjectives afin de préserver l'adaptation comportementale et psychologique (Selye, 1976 ; in Szalma & Teo, 2012). L'adaptation effective inclut ainsi des coûts en termes d'énergie psychologique et physiologique (Hockey, 1997). L'instabilité d'adaptation se caractérise donc par une vulnérabilité à la détérioration des performances due aux coûts énergétiques. Si les coûts engendrés par l'effort sont faibles, de bonnes performances de conduite pourront être maintenues. Cependant, les performances maintenues avec un coût sont considérées comme étant en « détérioration latente » (Hockey, 1997). En effet, avec le temps, l'effort investi pour

exécuter correctement les tâches de conduite devient trop coûteux et les ressources cognitives sont à la fois consommées par l'effort et par l'anxiété (Eysenck & Byrne, 1992 ; Gucciardi & Dimmock, 2008 ; in Dula et al., 2010). Cette théorie permet ainsi de comprendre l'impact de l'effort et de l'anxiété parallèlement investis face à une situation anxiogène. Il reste cependant à préciser le type de performance altéré.

➤ *Théorie d'efficience de traitement*

Troisièmement, la théorie de l'efficience de traitement d'Eysenck et Calvo (1992) tente d'expliquer les performances qui sont affectées par l'anxiété, en se basant sur deux théories princeps. D'une part, la théorie d'Humphreys et Revelle (1984) énonce que l'anxiété affecte les performances aux tâches de mémoire à court terme quelles que soient les demandes de la tâche. De plus, si le niveau d'activation est suffisamment important pour que l'individu puisse faire un effort malgré ses inquiétudes, i.e. variété de pensées non reliées à la tâche, l'anxiété n'affecte pas les performances aux tâches de transfert d'information ne requérant aucun stockage en mémoire (e.g., Temps de Réaction). Dans le cas contraire, l'anxiété peut augmenter les Temps de Réponse (TR) et mener à des collisions (Ross & Antonowicz, 2004 ; in Cai & Lin, 2011). Eysenck et Calvo (1992), lorsqu'ils présentent la théorie de l'efficience de traitement, soulignent trois limites à cette théorie princeps d'Humphreys et Revelle (1984) : 1/ les individus anxieux ne détournent pas toujours leur attention de la tâche principale vers leurs inquiétudes, 2/ contrairement à l'activation perçue, l'activation physiologique apporte une contribution mineure aux effets de l'anxiété sur les performances, et 3/ les individus ne sont pas passifs face aux situations et peuvent mettre en place des mécanismes compensatoires. Ces auteurs se basent, d'autre part, sur la théorie de l'interférence cognitive (Sarason, 1988) qui stipule que l'expérience de l'anxiété implique des inquiétudes qui affectent la performance en réduisant la quantité attentionnelle disponible pour être allouée à la tâche principale. L'interférence cognitive est alors définie par les pensées qui interviennent dans l'activité reliée à la tâche (Sarason et al., 1995 ; in Matthews, Dorn, Hoyes, Davies, Glendon, & Taylor, 1998). Les inquiétudes reliées à la conduite peuvent ainsi interférer avec les demandes de la tâche et contribuer à une détérioration des performances de conduite (Matthews et al., 1998). Deux limites sont également portées à cette dernière théorie: 1/ les niveaux d'inquiétude varient en fonction de l'anxiété mais ne sont pas associés à des différences de performance, 2/ les composants du système cognitif directement affectés par les inquiétudes ne sont pas précisés (Derakshan & Eysenck, 2009). La théorie de l'efficience

de traitement (Eysenck & Calvo, 1992) propose donc d'intégrer le système d'auto-régulation afin d'expliquer le processus d'efficacité. La détérioration latente des performances est ainsi prédite par la relation entre performances effectives (qualité de la performance) et efficaces (quantité d'effort ou de ressources utilisée pour atteindre le niveau de performance). Deux prédictions sont faites: 1/ l'anxiété affecte davantage l'efficacité que la performance effective, et 2/ l'anxiété dégrade davantage les performances lorsque les demandes de la tâche portent sur la mémoire de travail, et plus particulièrement sur deux de ses composantes, à savoir le centre exécutif (gestion des traitements) et la boucle articulatoire (traitement des informations verbales). En effet, l'anxiété peut provoquer des ruminations métacognitives ou des inquiétudes (e.g., « comment vais-je faire ? ») qui mobilisent ces deux composantes de la mémoire de travail et distraient l'attention portée sur la tâche principale de conduite (Lewis & Linder, 1997 ; in Fairclough et al., 2006). L'anxiété peut donc entraîner une hausse de la charge de travail. De plus, le modèle S-REF, i.e. « Self-Regulatory Executive Function » (Wells & Matthews, 1996 ; in Fairclough et al., 2006), indique que la peur de l'échec et l'inquiétude (niveau cognitif) peuvent accélérer la fréquence cardiaque (niveau physiologique), formant ainsi un cercle vicieux dans lequel les symptômes somatiques peuvent à leur tour faire augmenter le niveau d'anxiété et être source de distraction interne. La hausse de la charge de travail caractérisée par l'accélération de la fréquence cardiaque et provoquée par l'anxiété pourrait donc à son tour générer de l'anxiété. Les inquiétudes dégradent les performances cognitives (Borkovec, Ray, & Stober, 1998 ; Wells, 1994 ; in Fairclough et al., 2006) et affectent particulièrement les connaissances procédurales correspondant aux savoir-faire (Beilock & Carr, 2001 ; in Fairclough et al., 2006). En conduite, les inquiétudes constituent donc un risque d'accident. Une étude a en effet montré que l'anxiété subjective liée à la conduite et aux inquiétudes de la vie prédisait une augmentation des risques en conduite avec une hausse des défaillances et des violations du code de la route (Rowden, Matthews, Watson, & Biggs, 2011). La théorie de l'efficacité de traitement nous renseigne davantage sur le type de performance altéré par l'anxiété, avec tout de même un manque de précisions concernant les points suivants : 1/ lesquelles des cinq fonctions du centre exécutif sont affectées par l'anxiété, 2/ comment les stimuli anxiogènes distrayeurs dégradent les performances, 3/ pourquoi les performances sont davantage affectées par des stimuli menaçants chez des individus anxieux que chez des non anxieux, et 4/ quelles sont les circonstances dans lesquelles les individus anxieux peuvent être plus performants que les non anxieux (Nibbeling, Oudejans, & Daanen, 2012).

➤ *Théorie du contrôle attentionnel*

Quatrièmement, la théorie du contrôle attentionnel d'Eysenck, Derakshan, Santos et Calvo (2007) tente de fournir des explications au manque de précisions sur les différents points abordés ci-dessus, en postulant que l'anxiété réduit le contrôle attentionnel et affecte les performances de différentes manières. D'une part, l'anxiété augmente la charge de travail en dégradant l'efficacité concernant les fonctions du contrôle exécutif de la mémoire de travail impliquées dans le contrôle attentionnel. Il s'agit ainsi de la fonction d'inhibition permettant le contrôle attentionnel pour résister aux interférences de la tâche, et de la fonction de changement permettant la flexibilité du contrôle attentionnel pour rester focalisé sur le stimulus important (Eysenck et al., 2007). L'anxiété affecte donc particulièrement les performances lorsque la tâche est demandeuse au niveau de l'attention (Derakshan & Eysenck, 2009). D'autre part, l'anxiété peut également produire un biais attentionnel qui incite l'individu à changer son attention initialement portée sur la tâche, pour la diriger vers le stimulus menaçant interne (e.g., inquiétudes) ou externe (e.g., distracteurs) (Eysenck et al., 2007). Lorsque l'individu est anxieux, le stimulus menaçant attire l'attention (traitement ascendant dépendant des caractéristiques intrinsèques du stimulus) au détriment de l'objectif fixé pour réaliser la tâche (traitement descendant dépendant des connaissances de l'individu). Les performances à la tâche sont donc dégradées. Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires afin de valider empiriquement cette théorie.

➤ *Modèle du conflit d'objectifs*

Dernièrement, parmi le corpus théorique concernant les effets de l'anxiété sur les performances, Schmidt-Daffy (2012) a construit le modèle du conflit d'objectifs en appliquant la théorie neuropsychologique de l'anxiété de Gray et McNaughton (2000) au domaine de la conduite. D'après cette théorie, plusieurs objectifs représentés par le but d'une action et la tendance ou motivation à atteindre ce but peuvent s'activer simultanément sans pour autant avoir la possibilité d'être tous accomplis. Par exemple, un individu peut vouloir effectuer deux tâches en parallèle sans que cela soit faisable. Ces conflits d'objectifs activent le système d'inhibition comportementale qui entraîne trois symptômes d'anxiété: 1/ l'inhibition du comportement en cours avec une tâche accomplie plus lentement ou complètement omise, i.e. évitement passif, 2/ l'augmentation de la vigilance et de l'attention générale qui favorisent la détection de signaux menaçants, et 3/ l'augmentation de l'activation (Gray & McNaughton,

2000). Le modèle de conflit d'objectifs s'appuie sur cette théorie pour montrer qu'un conducteur, motivé pour conduire rapidement et circulant sur une section de route difficile, est partagé entre les objectifs de vitesse et de sûreté. Par conséquent, la difficulté de la tâche provoque de l'anxiété uniquement s'il s'agit d'un facteur de conflit d'objectifs de type approche-évitement (ou vitesse-sûreté). En fonction de sa sévérité, le conflit d'objectifs active le système d'inhibition comportementale qui entraîne cinq changements relatifs à l'anxiété : 1/ l'inhibition du comportement (ralentissement de l'exécution des actions reliées à la tâche de conduite), 2/ l'augmentation de la vigilance et de l'attention portée à la route, 3/ l'augmentation de la peur tant que le conflit n'est pas résolu, 4/ l'augmentation de l'activation, et 5/ le biais de l'affect négatif avec une réduction de la vitesse due à une conduite rapide davantage associée à des conséquences négatives (e.g., accidents) que le ralentissement de la conduite plutôt associé à des conséquences moins négatives (e.g., retard). Schmidt-Daffy (2012) a expérimentalement testé son modèle, confirmant ainsi que le conflit d'objectifs (vitesse-sûreté) durant la conduite entraîne une hausse de l'anxiété se manifestant sur le comportement (réduction de la vitesse), la perception subjective (hausse d'anxiété) et les réponses physiologiques (hausse de la réponse électrodermale reflétant l'attention et l'activation). Il est à noter qu'avec l'augmentation du conflit, l'anxiété ne cesse d'augmenter, et ce même après réduction de la vitesse. Une autre étude menée par Schmidt-Daffy en 2013 montrait que l'augmentation de la complexité de la situation avec la présence de brouillard n'avait pas d'effet sur l'anxiété subjective mais entraînait une diminution de la vitesse moyenne lorsqu'il y avait la possibilité de ralentir. Lorsque la vitesse était imposée, la complexité de la situation augmentait l'anxiété subjective. La stratégie de réduction de vitesse était donc efficace pour diminuer le niveau subjectif d'anxiété. En revanche, lorsque la situation était fortement anxiogène avec un conflit d'objectifs élevé entre la sûreté et la vitesse, l'anxiété subjective augmentait avec et sans réduction de vitesse. Ces résultats peuvent s'expliquer par la théorie du risque homéostatique (Wilde, 1982). En effet, le conflit d'objectifs était probablement accompagné d'un risque perçu élevé de par le choix entre les deux objectifs fixés. Cela augmentait le risque ciblé sur un des deux objectifs malgré la réduction de la vitesse (Schmidt-Daffy, 2012). Le modèle de conflit d'objectifs présente l'avantage d'avoir été validé en conduite automobile et d'accorder une part importante au facteur motivationnel. Cependant, il n'inclut pas la charge de travail dans le lien entre situation anxiogène et performances.

En résumé, les situations fortement anxiogènes augmentent le niveau subjectif d'anxiété malgré la mise en place de stratégies compensatoires. Un faible niveau d'anxiété est

favorable à l'amélioration des performances (Courbe en U inversé de Yerkes & Dodson, 1908). A l'inverse, un niveau très élevé d'anxiété détériore les performances de conduite réelles ou estimées. Les différentes théories montrent que les effets de l'anxiété sur les performances sont fonction de l'interaction entre les caractéristiques individuelles et les demandes environnementales, de l'instabilité d'adaptation, de l'efficacité, des inquiétudes, du contrôle attentionnel et des objectifs de l'individu. Il est important de noter qu'il existerait une relation bidirectionnelle entre l'anxiété et la charge de travail. Les théories révèlent en effet que l'anxiété peut augmenter la charge de travail investie pour réussir la tâche, et à l'inverse, la charge de travail peut générer de l'anxiété avec des inquiétudes pour réussir la tâche.

2.2.2. Impact de l'expérience de conduite

Les réactions face à des situations anxiogènes potentiellement dangereuses sont différentes en fonction de l'expérience de conduite. Les conducteurs novices perçoivent moins bien et moins rapidement les risques que les conducteurs expérimentés (McKenna & Crick, 1991 ; 1994 ; in Engströme et al., 2003), ce qui pourrait expliquer que les novices soient moins anxieux face à des situations dangereuses. Dans le modèle du biais de la réponse (Wallis & Hornswill, 2007), les différences entre novices et expérimentés s'observent par une mauvaise classification du danger de la part des novices. Ces derniers réagissent seulement aux situations les plus dangereuses. Deux raisons peuvent l'expliquer. Premièrement, les novices témoignent d'un manque d'anticipation dû à une sous-évaluation du danger et non à une erreur d'identification des situations dangereuses. Ils ont donc des temps de réactions plus longs face aux situations qu'ils évaluent comme étant moins dangereuses. Deuxièmement, les novices peuvent interpréter les situations aussi précisément et rapidement que les expérimentés mais sont moins aptes à les identifier comme étant dangereuses. Il s'agirait donc d'un problème de définition subjective du danger et non d'intensité. Par conséquent, une situation peut être appréhendée comme étant non dangereuse par les novices donc non anxiogène. A l'inverse, elle pourra être considérée comme étant dangereuse et donc anxiogène par les expérimentés. Les capacités d'anticipation des expérimentés leur permettent de percevoir et d'identifier les situations potentiellement dangereuses plus rapidement (Soliday & Allen, 1972 ; Ahapalo et al., 1987 ; Quimby & Watts, 1981 ; Finn & Bragg, 1986 ; in Engströme et al., 2003), et d'adopter un comportement avec des temps de réponse plus rapides face au danger (McKenna & Crick, 1991 ; Quimby & Watts, 1981 ; Sexton, 2000 ; in Wallis & Hornswill, 2007).

L'anxiété générée par l'identification du danger permettrait donc un comportement adapté face à la situation dangereuse.

Par ailleurs, pour les situations dangereuses identifiées à la fois par les conducteurs novices et expérimentés, les novices fixent plus longtemps les objets de la situation que les expérimentés (Chapman & Underwood, 1998 ; in Engströme et al., 2003) et réagissent moins rapidement. Les longs temps de réaction des novices attestent que leurs performances sont davantage dégradées que celles des expérimentés. Il se pourrait donc qu'une même situation identifiée comme étant dangereuse soit évaluée comme plus anxiogène par les novices que par les expérimentés, ces derniers étant susceptibles d'avoir déjà rencontré des situations dangereuses similaires, et comme le suggèrent Westerman & Haigney (2000), l'anxiété perçue serait donc liée à l'expérience de conduite. Chez de jeunes apprenants, une étude a révélé que l'augmentation de la pression d'évaluation inhérente à chaque situation (leçon de conduite, examen blanc, examen officiel) augmentait l'anxiété subjective. Cette augmentation de l'anxiété était supérieure pour les individus qui échouaient l'examen officiel que pour ceux qui le réussissaient (Fairclough et al., 2006), confirmant ainsi un effet négatif de l'anxiété subjective sur les performances des novices. L'impact de l'anxiété sur les performances de conduite dépend donc de la vulnérabilité du conducteur face à l'anxiété (Rowden et al., 2011). En situation de lancés de fléchettes avec une induction de l'anxiété et une double tâche, l'efficacité du traitement de l'information était négativement affectée pour les novices et pour les expérimentés avec un allongement des temps de lancés, une diminution du taux de réponses à la double tâche et une hausse subjective de l'effort mental et physique. Cependant, les performances se détérioraient seulement pour les novices pour lesquels la combinaison de deux tâches demandait davantage d'effort qu'une simple tâche (Nibbeling et al., 2012). L'anxiété induite couplée avec un effort supplémentaire pour les novices expliquerait donc leur baisse de performance.

Le seuil de dangerosité d'une situation doit être élevé pour que les novices la considèrent comme dangereuse. Une fois la situation dangereuse identifiée, un haut niveau subjectif d'anxiété inhérent aux novices dégrade leurs performances, d'autant plus si leur effort à la tâche est élevé. Ces résultats sont à nuancer dans la mesure où peu d'études montrent les effets combinés de l'anxiété et de la charge sur les performances en fonction de l'expérience. Dans le paragraphe suivant, nous nous intéressons à la vigilance, également composante de l'état interne de l'individu.

2.3. Vigilance

Les liens entre la vigilance des conducteurs et la sécurité routière font depuis longtemps l'objet d'investigations qui offrent un faisceau convergent de connaissances incitant à attribuer à l'hypovigilance un rôle important dans les accidents routiers. L'étude de l'oscillation des rythmes de veille-sommeil (la chronobiologie) montre qu'en 24 heures, la somnolence chez une personne éveillée survient le plus souvent entre 1 heure et 3 heures du matin, ainsi qu'entre 14 à 16 heures. Les performances sont corrélées avec la vigilance (Monk, 1982 ; Fröberg, 1977 ; in Hadj-Mabrouk et al., 2001). Elles se détériorent en effet à ces moments précis de baisse de vigilance, qu'elles soient accompagnées d'épisodes d'endormissement ou non (Duta, Alford, Wilson, & Tarassenko, 2004). Les accidents qui se produisent pendant ces périodes physiologiques de baisse de vigilance représenteraient 36,1 % des accidents mortels et 41,6 % de l'ensemble des accidents de la route (Philip, Vervialle, Le Breton, Taillard, & Horne, 2001). La diminution de la sensibilité perceptuelle de vigilance est systématiquement reliée à la demande de la tâche (See, Howe, Warm, & Dember, 1995 ; in Shaw, Matthews, Warm, Finomore, Silverman, & Costa, 2010). Une tâche requérant un effort mental soutenu (e.g., autoroute monotone ou route urbaine) entraîne une baisse de vigilance subjective (Smit, Eling, & Coenen, 2004). On peut donc se demander quels liens s'établissent entre situation de conduite, charge de travail, vigilance et performances.

2.3.1. *Impact de la complexité des situations de conduite*

Lorsque la situation de conduite est simple et monotone, l'attention soutenue est difficile à maintenir car l'activité devient quasi automatique. C'est le cas des longues périodes de conduite sur autoroute (Campagne, Pebayle, & Muzet, 2004), notamment avec un trafic fluide. Cet environnement pauvre et répétitif induit une charge de travail élevée et prolongée entraînant un épuisement des ressources et donc une baisse de la vigilance qui obéit à la loi de dégradation dans le temps. Les modifications de la situation du point de vue de l'ambiance, de la nature des signaux et des activités connexes ne produisent que des variations autour de cette loi fondamentale, en augmentant ou en atténuant la dégradation de la vigilance dans le temps (Tarriere, 1963). L'automatisation de la tâche conduit à une hausse de la vigilance dans un premier temps (Tarriere, 1963), puis à un assoupissement (défaillances dans le maintien de l'état vigile caractérisées par des baisses d'attention) et à une diminution de la vigilance (Mitler, Carskadon, Czeisler, Dement, Dinges, & Graeber, 1988). Ainsi, une étude a révélé

que, sur autoroute monotone, la hausse subjective d'endormissement, les TR représentant la détérioration de l'alerte et le nombre de performances instables augmentaient dans le temps et rendaient la conduite insécurisée au-delà de 80 min (Ting, Hwang, Doong, & Jeng, 2008). Les situations comprenant des tâches plus complexes, variables et courtes, ou un environnement plus riche, pouvaient, quant à elles, provoquer la mise en œuvre de processus compensatoires à la baisse de vigilance (Shiffrin, & Schneider 1977 ; Meskali, Berthelon, Marie, Denise, & Bocca, 2009). Par exemple, des tâches relativement complexes comme le suivi de véhicule ou la conduite en milieu urbain demandent une attention plus soutenue et dépendent d'un traitement de l'information plus contrôlé, moins susceptible d'entraîner une baisse d'activation et plus à même de susciter la mise en œuvre de mécanismes compensatoires (Chiron, Bernard, Lafont, & Lagarde, 2008). Une étude a ainsi révélé qu'en conduite monotone, la trajectoire devenait moins stable dans le temps, certainement dû à une baisse de vigilance, cependant, l'introduction d'une tâche concurrente permettait un maintien de trajectoire (Atchley & Chan, 2011). La complexité supplémentaire améliorerait donc probablement la vigilance grâce au coût cognitif qu'elle produisait malgré l'environnement monotone. En effet, augmenter la charge de travail avec une tâche secondaire est efficace pour lutter contre la fatigue (Oron-Gilad, Ronen, & Shinar, 2008 ; Verwey & Zaidel, 1999 ; in Gershon, Ronen, Oron-Gilad, & Shinar, 2009). Une augmentation de la charge de travail entraîne donc une hausse de vigilance mais la tendance s'inverse lorsque les tâches deviennent plus difficiles et précises (Ansseau & Timsit-Berthier, 1987 ; in Hadj-Mabrouk et al., 2001), entraînant une surcharge de travail avec, dans ce cas, une diminution de la vigilance (Brookhuis et al., 2003 ; Falzon & Sauvagnac, 2004). D'après le modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson (cf. Ansseau et Timsit-Berthier, 1987 ; in Hadj-Mabrouk et al., 2001), l'augmentation de la vigilance s'accompagne d'une amélioration des performances jusqu'à un optimum au-delà duquel les performances se détériorent. Ce niveau optimal est différent en fonction du type de tâches (loi de Yerkes-Dodson d'après Wickens & Hollands, 2000 ; in Bruyas, 2011). L'excès de vigilance représenté par le stress ou l'hyperexcitation dégrade plus précocement les performances aux tâches complexes et précises que les performances aux tâches simples et automatiques (voir Figure 4).

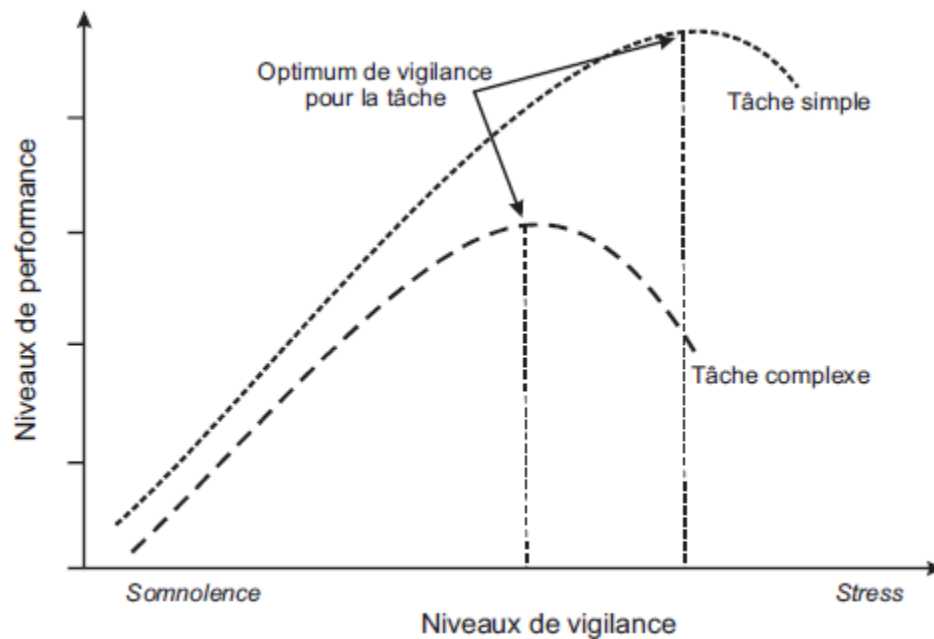


Figure 4. Corrélation entre vigilance et performance.

La progression de la propension à la somnolence pourrait être la principale cause de la détérioration de la performance de conduite (Campagne et al., 2004). En effet, l'activité de conduite nécessite un certain niveau de vigilance des premières étapes de traitement de l'information aux étapes d'action. D'après le modèle du processeur humain de Card, Moran et Newell (1983 ; in Tyndiuk, Schlick, Claverie, & Thomas, 2003), les récepteurs sensoriels reçoivent l'information et la transmettent au processeur perceptif qui la dirige ensuite vers les mémoires iconique ou échoïque. L'information reçue est maintenue temporairement dans la mémoire de travail pour être ensuite mise en relation avec les informations stockées en mémoire à long terme. Lorsque ces dernières sont nécessaires à la réalisation de la tâche, elles sont transmises aux processeurs moteurs et en parallèle aux différents effecteurs. Ces mécanismes demandent des ressources cognitives, de l'énergie, et par là même un certain niveau d'activation du cerveau correspondant à un état de vigilance qui varie en fonction de la complexité de la tâche, de la situation (Philip, Sagaspe, Moore, Taillard, Charles, Guilleminault, & Bioulac, 2005) et du moment de la journée. La vigilance basale du système nerveux central permet ainsi de maintenir l'attention et la vigilance opératoire prépare au comportement afin de répondre de manière appropriée aux demandes et aux changements de la situation (Shaw et al., 2010). Mélan (2008) soulève le caractère conscient de la perception et du traitement des informations. Lorsque nous sommes vigilants, nous avons une perception consciente des informations traitées dans le but de réagir au monde extérieur de manière adaptée. Cette conscience de la situation est possible seulement si nous sommes éveillés, ce

qui rejoint bien l'étymologie du mot vigilance signifiant « éveil ». En état de veille attentive, l'opérateur a donc une capacité maximale à fournir une réponse optimale à une tâche donnée, alors que ce n'est pas le cas en état de faible vigilance (Hadj-Mabrouk et al., 2001). Nous pouvons donc supposer qu'un niveau de vigilance élevée ne demande qu'un faible niveau de charge de travail pour réaliser une tâche, dans la mesure où le niveau interne de base est optimal. A l'inverse, un niveau de vigilance faible devrait nécessiter un haut niveau de charge de travail afin de compenser le niveau interne de base défaillant en fournissant un effort élevé pour réaliser la tâche. D'un point de vue accidentogène, les problèmes de vigilance entraînent des pertes généralisées des capacités chez les conducteurs, notamment lors des endormissements. Les accidents générés impliquent souvent un véhicule isolé roulant à grande vitesse et qui n'a pas tenté d'éviter l'accident (allongement du temps de réaction), entraînant une forte mortalité et morbidité (Hadj-Mabrouk et al., 2001). Ces accidents se manifestent quasi-systématiquement par des pertes de contrôle du véhicule, i.e. incapacité à réguler une trajectoire ou inaptitude à assurer le guidage du véhicule dans sa voie de circulation (Van Elslande, Jaffard, Fouquet, & Fournier, 2009). En ce sens, le nombre de déviations de trajectoire augmente au fur et à mesure de la baisse de vigilance (Thiffault & Bergeron, 2003 ; in Larue et al., 2011) et la plupart d'entre elles semble entraîner une sortie de voie (ligne de rive droite). Ainsi, 42% des conducteurs déclaraient avoir traversé la ligne de rive droite contre 4,6% qui déclaraient avoir traversé la ligne de marquage central (Campagne et al., 2004). De plus, l'hypovigilance du conducteur le rend incapable de réagir à temps ou même de réagir face aux événements critiques (Lal & Craig, 2005 ; in Larue, Rakotonirainy, & Pettitt, 2011). L'allongement des temps de réaction dû à la somnolence au volant peut ainsi être à l'origine d'une hausse du risque d'accident, notamment en cas d'excès de vitesse. L'augmentation de la vitesse est par ailleurs favorisée par la baisse de vigilance (De Waard & Brookhuis, 1997 ; Larue et al., 2011), probablement avec un relâchement du tonus musculaire provoquant un appui plus important du pied sur la pédale d'accélération. L'hypovigilance altère donc des éléments de performance critiques pour la sécurité routière (Hadj-Mabrouk, 1999 ; in Hadj-Mabrouk et al., 2001).

Comme pour l'anxiété, il existe ainsi une relation bidirectionnelle entre vigilance et charge de travail. Les situations simples et monotones ainsi que les situations très complexes sont susceptibles de provoquer une surcharge de travail entraînant une baisse de vigilance qui décroît dans le temps et mène à des détériorations de performances. Réciproquement, il est probable que la baisse de vigilance augmente la charge de travail nécessaire à la réussite d'une tâche. Cependant, la majorité des études sur la vigilance porte sur des situations

monotones et il est donc difficile de valider la théorie sur les situations très complexes de manière empirique. Par ailleurs, des différences entre conducteurs novices et expérimentés devraient s'observer.

2.3.2. Impact de l'expérience de conduite

Les variations de vigilance affectent les performances de conduite différemment en fonction de l'expérience, notamment en termes de perception du danger. Une étude a ainsi montré que les conducteurs novices avaient une forte hausse subjective de somnolence à 3h du matin, qui ralentissait la perception du danger, contrairement aux expérimentés dont la hausse mineure subjective de sommeil n'affectait pas les TR (Smith et al., 2009). La perception tardive du danger due à la baisse de vigilance des novices diminuait donc leurs capacités d'anticipation. Avec un niveau de vigilance équivalent, nous pouvons supposer que les conducteurs expérimentés ont davantage de compétences pour gérer les effets néfastes de la baisse de vigilance que les conducteurs novices. C'est la raison pour laquelle une stratégie efficace contre la somnolence des jeunes conducteurs novices a été mise en place en Nouvelle-Zélande, i.e. l'interdiction de conduire de nuit durant le permis provisoire (Begg & Stephenson, 2003 ; Begg, Stephenson, Alsop, & Langley, 2001 ; in Smith et al., 2009).

Ces quelques études tendent à montrer que comparativement aux expérimentés, les novices ont davantage de difficultés à exécuter leur tâche de conduite lorsqu'ils sont en baisse de vigilance. Une recherche plus approfondie et plus exhaustive est cependant nécessaire pour arriver à des conclusions.

CHAPITRE 3 : Mesures subjectives et objectives

1. Charge de travail

1.1. Charge de travail subjective

1.1.1 Questionnaires : outils de mesure

Différents critères doivent être considérés pour garantir une évaluation optimale du niveau de charge de travail. Sept critères sont ainsi identifiés pour évaluer les outils de mesure du niveau subjective de la charge (Eggemeier, Wilson, Kramer, & Damos, 1991 ; in Rubio et al., 2004):

- 1/ Sensibilité : détecte les changements de difficulté de la tâche ou des demandes,
- 2/ Diagnosticité : identifie les changements de variation de la charge ainsi que la raison de ces changements,
- 3/ Validité : est seulement sensible aux différences de demandes cognitives avec soit une validité convergente, i.e. les valeurs de charge pour chaque tâche mesurées par différents outils doivent être corrélées, soit une validité divergente, i.e. pour chaque outil de mesure de charge, la charge globale et les performances doivent être corrélées,
- 4/ Intrusion : ne doit pas interférer avec la tâche primaire de performance,
- 5/ Fiabilité : reflète systématiquement la charge de travail,
- 6/ Implémentation des demandes : inclut des aspects tels que le temps, les outils, et le logiciel pour le recueil et l'analyse des données,
- 7/ Acceptabilité du sujet : le sujet doit percevoir la validité et l'utilité de la procédure.

Les questionnaires qui évaluent le niveau subjectif de charge de travail ne répondent pas toujours à ces critères. Bien que cette technique ait l'avantage de pouvoir être mise en place rapidement (Paubel, 2011; Rubio et al., 2004), elle ne permet pas de rendre compte des variations de la charge en continu durant la réalisation de la tâche (Cegarra & Chevalier, 2008). En effet, cette technique est une post-rationalisation et lorsque la tâche est longue, un biais de rappel peut apparaître avec un oubli à propos de l'état du participant durant la session (Manning, Mills, Fox, & Pfleiderer, 2001; in Paubel, 2011).

Dans le domaine de la conduite, trois questionnaires constitués par une échelle multidimensionnelle sont souvent utilisés et comparés.

Le “Subjective Workload Assessment Technique” (SWAT ; Reid & Nygren, 1988) comprend des échelles évaluant différentes composantes de la charge, i.e. sa durée, l’effort mental, et le stress psychologique. Trois niveaux subjectifs de charge sont proposés pour chaque échelle : faible, moyen et élevé.

Le “Workload Profile” (WP ; Tsang & Velazquez, 1996) est quant à lui basé sur le modèle des ressources multiples de Wickens (1987). Les participants doivent estimer la proportion des ressources attentionnelles utilisées immédiatement après avoir expérimenté une tâche particulière, et ce à travers huit dimensions: traitement perceptif/central, traitement de la réponse, codage du traitement spatial, codage du traitement verbal, entrée visuelle, entrée auditive, production manuelle, et production de paroles (Rubio et al., 2004, p. 67). La définition de chaque dimension est donnée aux participants. Pour chaque tâche, ils doivent fournir un nombre entre 0 (pas de demande) et 1 (maximum de demandes) qui représente la proportion des ressources attentionnelles utilisées pour chacune des huit dimensions de la charge.

Le questionnaire “NASA Task Load Index” (TLX ; Hart & Staveland, 1988) comprend six combinaisons de facteurs pertinents pour caractériser la charge de travail subjective : les demandes mentales (quantité de l’activité mentale et perceptive demandée), les demandes physiques (quantité de l’activité physique demandée), les demandes temporelles (quantité de la pression ressentie due au rythme d’apparition des éléments de la tâche), la performance (évaluation du succès à faire la tâche demandée et évaluation de la satisfaction à l’accomplir), l’effort (évaluation de la difficulté à devoir travailler mentalement et physiquement pour accomplir le niveau de performance), et la frustration (évaluation du sentiment d’insécurité, de découragement, d’irritation, de stress, d’agacement vs sentiment de sécurité, de gratification, de satisfaction, de relaxation et de complaisance durant la tâche). Une échelle en 20 points de 0 = ‘très faible’ à 20 = ‘très élevé’ est proposée pour chaque dimension, hormis pour la dimension Performance qui va de 0 = ‘succès’ à 20 = ‘échec’. Ces trois questionnaires sont souvent comparés en fonction des différents critères auxquels ils répondent (voir Tableau 1).

Deux autres questionnaires plus spécifiquement reliés à l’effort mental et à la charge mentale en conduite ont respectivement été utilisés dans la littérature.

Le ‘Rating Scale Mental Effort’ (RSME ; Zijlstra, 1993) est une échelle unidimensionnelle qui mesure uniquement l’effort mental avec une ligne verticale continue. Neuf étiquettes disposées sur la ligne de 15 cm (échelle de 0 à 150) vont de ‘absolument pas

d'effort', en passant par 'plutôt beaucoup d'effort' jusqu'à 'effort extrême'. Les participants indiquent l'un des neuf points.

Le 'Driving Activity Load Index' (DALI ; Pauzié, 1994) évalue le niveau subjectif de charge de travail due à la tâche de conduite. Il s'inspire du NASA-TLX et comprend six sous-échelles, chacune allant de faiblement à fortement exigeant : 1/ Effort d'attention (attention exigée par l'activité), 2/ Demande visuelle (nécessaire pour l'activité), 3/ Demande auditive (nécessaire pour l'activité), 4/ Demande temporelle (contrainte spécifique due à la demande temporelle en réalisant l'activité), 5/ Interférence (perturbation possible en réalisant l'activité simultanément avec une autre tâche supplémentaire), et 6/ Situation de stress (niveau de contraintes/stress en réalisant une activité). Ce questionnaire est conçu pour une situation spécifique et il est donc uniquement approprié pour cette condition.

Ces questionnaires de charge de travail sont souvent décrits ou comparés par des auteurs en fonction des critères qu'ils prennent en considération (voir Tableau 1; Ba & Zhang, 2011; Fréard et al., 2007; Olar & Deconde, 2004; Paubel, 2011; Pauzié, 1994; Rubio et al., 2004; Zijlstra, 1993).

Tableau 1. Avantages des questionnaires de charge de travail.

Avantages	SWAT	WP	NASA-TLX	RSME	DALI
- Plusieurs dimensions mènent à des informations complémentaires sur la nature de la charge	✓	✓	✓		✓
- Charge multidimensionnelle: demande de la tâche, effort et performance			✓		✓
- Évalue le niveau de charge dans un système multimodal (visual, auditif, etc.)		✓			✓
- Sensible à la difficulté de la tâche		✓		✓	
- Évalue le coût subjectif pour réaliser la tâche			✓	✓	
- Compare plusieurs tâches avec des niveaux de difficultés différents		✓			
- Prédit la performance à la tâche			✓		
- Analyse les demandes cognitives ou les ressources attentionnelles demandées	✓	✓			
- Utilisé dans des tâches réelles complexes	✓	✓	✓		
- Sensibilité	✓	✓	✓		
- Diagnosticité	✓	✓	✓		
- Validité	✓	✓	✓		
- Intrusion	✓	✓	✓		

Parmi eux, le WP et le NASA-TLX présentent plus d'avantages que le SWAT. Cependant, le choix du questionnaire devrait s'établir en fonction des dimensions spécifiques de la charge que l'expérimentateur veut étudier. D'après nos connaissances, aucune étude n'a démontré que ces questionnaires respectaient la fiabilité, l'implémentation des demandes et l'acceptabilité du sujet.

En résumé, le questionnaire le plus adapté doit non seulement respecter un certain nombre de critères mais également évaluer les dimensions de la charge de travail qui correspondent aux objectifs de l'étude. Par ailleurs, d'autres mesures peuvent compléter les questionnaires et répondre à leurs limites, comme les indicateurs physiologiques.

1.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la charge de travail subjective et les performances

Plusieurs études ont été menées dans le but de montrer des variations de la charge de travail subjective et des performances de conduite en fonction de la complexité de la situation. Pour ce faire, les expérimentateurs ont généralement testé différents niveaux de complexité, soit en fonction du type de routes (urbaine, rurale, autoroute), du tracé de la route (formes horizontale et verticale, type d'intersection), et du flux du trafic (densité et direction) (taxonomie de la complexité des situations, voir Fastenmeier, 1995), soit en fonction de la difficulté de la tâche avec le paradigme de la double tâche opposant une tâche simple (faible niveau de complexité) à une double tâche (niveau de complexité élevé).

Comme attendu, deux études ont révélé que la hausse de la complexité de la situation provoquait une augmentation de la charge de travail subjective, ainsi qu'une dégradation des performances. En effet, en passant d'une simple tâche de conduite à une double tâche (conduire et répondre au téléphone), les Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP) du véhicule sur la chaussée et les déviations standard des mouvements du volant augmentaient (De Waard, Brookhuis, & Hernandez-Gress, 2001). De même, conduire sur trois sections « route rectiligne », « avec du trafic arrivant en sens inverse », et « en ville » faisait respectivement augmenter les SDLP (Baldauf, Burgard, & Wittmann, 2009).

Contrairement aux attentes, deux études ont montré que la hausse de la complexité de la situation provoquait une diminution de la charge de travail subjective accompagnée d'une amélioration des performances. En effet, comparativement à des situations peu complexes

sans marquage au sol (Steyvers & De Waard, 2000) ou avec une visibilité réduite du marquage au sol (Horberry, Anderson, & Regan, 2006), des situations complexes comprenant un grand nombre d'informations à traiter, que ce soit avec la présence d'un marquage au sol (Steyvers & De Waard, 2000) ou avec une bonne visibilité du marquage au sol (Horberry et al., 2006), amélioreraient les performances avec une diminution des SDLP et des déviations standard des mouvements du volant (Steyvers & De Waard, 2000), ou avec une diminution des SDLP et des franchissements du marquage central (Horberry et al., 2006). Par conséquent, le marquage au sol constituant une information supplémentaire utile au contrôle de la trajectoire servait d'indice pour guider le conducteur. Les éléments supplémentaires supposés complexifier les situations peuvent donc finalement faciliter le traitement de l'information plutôt que de rajouter une charge supplémentaire.

Plusieurs études effectuées auprès de conducteurs expérimentés n'ont révélé aucun effet de la complexité de la situation sur la charge de travail subjective, probablement de part une variation de complexité insuffisante pour mettre en évidence des liens. Cependant, les effets sur les performances étaient variés. La hausse de la complexité de la situation ne faisait pas varier les performances de conduite (SDLP) entre une autoroute simple et une autoroute avec des entrées et des sorties (De Waard, 1991), ou les améliorait d'une route ordinaire précédant ou suivant une route expérimentale, i.e. route menant à travers une zone déserte (Jessurun, De Waard, Raggatt, Steyvers, & Brookhuis, 1993) vs. route menant à travers une forêt (De Waard, Jessurun, Steyvers, Raggatt, & Brookhuis, 1995). Dans ces situations moyennement complexes, une élasticité des ressources disponibles permettait probablement d'augmenter leur mobilisation sans ressentir aucun coût, ce qui permettait de réaliser la tâche correctement (Kahneman, 1973). Cependant, une dégradation des performances (augmentation des SDLP) a été observée sur une route complexe avec un bruit de voie ferrée à proximité vs. une route peu complexe sans bruit de voie ferrée (Jessurun, Steyvers, De Waard, Dekker, & Brookhuis, 1990). Ceci pouvait être dû à une forte mobilisation des ressources qui n'était pas perçue par les conducteurs mais qui ne leur permettait pas d'avoir de bonnes performances.

Il faut d'autre part noter que lorsque la complexité de la situation augmente, des mécanismes compensatoires peuvent être mis en place dans le but d'abaisser le niveau de charge de travail et de maintenir de bonnes performances. Par exemple, les conducteurs peuvent réduire leur vitesse afin d'avoir davantage de temps pour traiter les informations nécessaires. En effet, quatre études ont révélé que malgré la hausse de la charge de travail subjective, les conducteurs réussissaient à maintenir leurs performances (peu de SDLP) en

simple tâche comme en double tâche (Cnossen, Rothengatter, & Meijman, 2000 ; Di Stasi et al., 2010), et ont même, dans certains cas, amélioré leurs performances (diminution des SDLP) en double tâche par rapport à la simple tâche (Brookhuis, De Vries, & De Waard, 1991).

La diversité des résultats montre que la complexité de la situation ne mène pas toujours à une hausse de la charge de travail subjective ainsi qu'à des dégradations de la performance, bien que ce soit généralement le cas pour les conducteurs expérimentés en situations très complexes, reflétant probablement une surcharge de travail subjective. Dans le prochain paragraphe, nous nous intéressons à l'effet de l'expérience de conduite sur la charge de travail subjective et les performances.

1.1.3 Effets de l'expérience sur la charge de travail subjective et les performances

Une étude a montré que, face à des situations critiques d'accidents, l'ensemble des conducteurs avait des performances dégradées avec une augmentation du nombre de collisions, des SDLP et du temps de freinage. Les performances étaient toutefois meilleures pour les conducteurs expérimentés que pour les novices. Les expérimentés anticipaient davantage et plus précocement que les novices avec une stratégie compensatoire plus efficace, i.e. une réduction de la vitesse (Damm et al., 2011). De plus, comparativement aux novices, seuls les expérimentés estimaient qu'ils adopteraient la stratégie de réduction de la vitesse avec la hausse de la complexité de la situation caractérisée par un ajout d'éléments sur des images (De Craen et al., 2008). Ces résultats suggèrent que les conducteurs novices sous-estimaient la complexité de la situation.

Une autre étude a cependant montré que le niveau subjectif de charge de travail n'était influencé ni par la complexité de la situation (simple tâche vs. double tâche), ni par l'expérience de conduite (Patten et al., 2006).

Par conséquent et en résumé, la complexité de la situation augmentait la charge de travail subjective et menait à des dégradations de performances, avec souvent de meilleurs résultats pour les expérimentés que pour les novices. Cependant, peu d'études ont testé les effets conjoints de la complexité de la situation et de l'expérience sur la charge de travail subjective et les performances de conduite. Concernant les mesures physiologiques corrélées à la charge de travail, nous pouvons nous demander si elles présentent une meilleure sensibilité que les

questionnaires aux variations de la charge de travail induites par la complexité de la situation et le manque d'expérience de la conduite, et répondraient ainsi aux limites des questionnaires.

1.2. Charge de travail objective

1.2.1 Indicateurs physiologiques : outils de mesure

L'évaluation du niveau objectif de la charge de travail doit prendre en compte certains des critères considérés pour l'évaluation subjective de la charge de travail (sensibilité, diagnosticité, intrusion et fiabilité), ainsi que la généralité de l'application, i.e. en laboratoire et en environnement opérationnel (Kramer, 1991). Il existe différents types de mesures objectives de la charge de travail, notamment des indicateurs physiologiques et la performance à la double tâche. Dans les différentes études relatées ici, nous nous centrerons sur les indicateurs physiologiques, la performance à la double tâche étant uniquement décrite pour confirmer ou non l'automatisme de la tâche de conduite.

Les indicateurs physiologiques peuvent compléter les données subjectives, ayant de multiples avantages. En effet, ils permettent une évaluation « on-line » (en temps réel) répondant relativement rapidement aux changements phasiques de la charge de travail même si la latence de réaction est différente en fonction des mesures effectuées. Les indicateurs physiologiques sont donc des mesures indirectes, corrélées à la charge de travail. De plus, les outils de mesures sont non invasifs, i.e. sans aucune pénétration de l'organisme ni possibilité d'intervention intentionnelle du participant sur ses manifestations physiologiques. Ces outils de mesures sont généralement applicables en laboratoire avec un contrôle des facteurs pouvant agir sur le signal, tels que la température, la lumière, etc. Les mesures peuvent être enregistrées comme une base (un point de référence) en l'absence de comportement. Enfin, elles fournissent une analyse fine avec une sensibilité spécifique à différentes dimensions de la charge de travail (Kramer, 1991). Cependant, les indicateurs physiologiques présentent quelques limites dans la mesure où ils ne sont pas entièrement fiables pour plusieurs raisons, i.e. des résultats divergents sont trouvés en fonction des études, leur interprétation nécessite une expertise technique (Kramer, 1991), la discrimination entre le signal et le bruit est difficile lorsque les deux apparaissent en même temps sur la même fréquence, et des facteurs autres que la charge de travail peuvent influencer le signal (e.g., exercice physique, lumière

ambiante, et manifestations physiologiques émotionnelles inhérentes à l'appareillage qui provoquent des parasites sur le signal enregistré) (Kramer, 1991).

Les mesures physiologiques suivantes sont les plus utilisées pour évaluer le niveau objectif de charge de travail.

➤ *Electro-encéphalogramme*

L'ElectroEncéphaloGraphie (EEG) est une méthode d'exploration cérébrale qui mesure deux types d'indicateurs de charge: les bandes de fréquence et les potentiels évoqués. Concernant les bandes de fréquence, la diminution d'alpha (8 à 13 Hz) et la hausse de theta (4 à 8 Hz) indiquent une augmentation de la charge (Borghini, 2012 ; Kramer, 1991) bien que davantage de recherches soit nécessaire afin de préciser ce lien (De Waard, 1996). Les potentiels évoqués fournissent une image de la chronométrie mentale, particulièrement en distinguant les processus perceptifs, cognitifs et moteurs impliqués dans les situations complexes. Plusieurs composants des potentiels évoqués avec une longue latence (potentiels positifs ou négatifs apparaissant 100, 200 ou 300 ms après la présentation du stimulus) sont pris en considération. L'allongement de l'apparition de certains de ces composants (Ying, Fu, Qian, & Sun, 2011) et la précocité d'apparition d'autres composants (Miller, Rietschel, McDonald, & Hatfield, 2011) révèlent une variation de la charge. L'amplitude du composant P300 (ou P3) est le plus souvent utilisé (Brookhuis & De Waard, 2010). Les potentiels évoqués ont une diagnosticité élevée aux traitements perceptifs et cognitifs mais ils sont insensibles aux facteurs de réponse et ils ont un faible ratio signal/bruit dans la mesure où ils sont influencés par les signaux électriques du cœur, des yeux, des muscles et des sources externes (De Waard, 1996).

➤ *Activité électrodermale*

L'Activité ElectroDermale (EDA) rend compte des changements automatiques des propriétés électriques de la peau. Sa sensibilité aux variations de la charge est manifestée par une corrélation positive (Wilson, 2001 ; Chapon & Gabaude, 2009). Elle est souvent utilisée comme un indicateur indirect de l'effort cognitif (Critchley, Elliott, Mathias, & Dolan, 2000) dans la mesure où elle n'est pas très sélective, étant sensible à divers facteurs tels que la respiration, la température, l'humidité, l'éveil et les émotions (De Waard, 1996).

➤ *Electro-oculogramme*

L'ElectroOculoGramme (EOG) rend compte de l'activité oculaire. L'augmentation des réponses de saccades oculaires et les pics de vélocité des saccades révèlent un haut niveau de charge en situations complexes (Di Stasi, Álvarez-Valbuena, Cañas, Maldonado, Catena, Adoración, & Candido, 2009). Cependant, l'activité oculaire dépend probablement davantage des demandes visuelles que des demandes cognitives (De Waard, 1996).

➤ *Taux de cortisol*

Le taux de cortisol peut être évalué lors d'un prélèvement salivaire. La hausse de cette hormone en état d'éveil active l'axe hypothalamo-pituitaire-adrénal et reflète une augmentation de charge (Chida & Steptoe, 2009). En effet, le taux de cortisol indique le niveau de stress et indirectement l'effort investi pour y faire face.

➤ *Electrocardiogramme*

Nous détaillerons davantage l'ElectroCardioGramme (ECG) communément utilisé pour évaluer la charge de travail. Cet outil donne une représentation des variations électriques (en millivolts) du cœur, nécessaires pour les contractions cardiaques musculaires. Deux principaux indicateurs sont identifiés comme étant sensibles à la charge (Boutcher & Boutcher, 2006 ; Causse, Barakat, Pastor, & Dehais, 2011 ; Jorna, 1992 ; Wilson & Eggemeier, 1991 ; in Gabaude, Barakat, Jallais, & Fort, 2012) (Mulder, 1986, 1988, 1992 ; De Waard & Brookhuis, 1991 ; in Brookhuis & De Waard, 2010). Premièrement, la moyenne de la Fréquence Cardiaque (FC) se réfère au nombre de battements par minute et la FC différentielle ou incrémentale est prise en compte pour préciser la différence entre deux périodes, généralement une période de repos et une d'activité. Deuxièmement, la Variabilité du Rythme Cardiaque (VRC) est définie par la variabilité de l'intervalle inter-battements, i.e. durée (ms) entre deux pics consécutifs caractérisant les battements cardiaques. La VRC peut être divisée en plusieurs fréquences et le centre de la bande de fréquence moyenne (composant 0.10 Hz de la VRC) est particulièrement utilisé pour identifier l'effort mental (De Waard, 1996). La hausse de la charge se traduit par une augmentation du rythme cardiaque moyen ou différentiel et par une diminution de la VRC, particulièrement dans la bande de

fréquence 0.10 Hz (Mulder, De Waard, & Brookhuis, 2004 ; in Brookhuis & De Waard, 2010). Cependant, ces indicateurs présentent quelques limites. La FC n'est pas exclusivement sensible aux variations de charge. Elle reflète également les processus énergétiques, thermorégulateurs, respiratoires et émotionnels (Nickel & Nachreiner, 2003), l'effort émotionnel et l'activité physique (Jahn, Oehme, Krems, & Gelau, 2005). Quant à la VRC, elle ne discrimine pas toujours les niveaux de difficulté, comme dans l'étude de Gabaude et al. (2012) qui ne révèle aucune différence entre la condition de simple tâche et celle de double tâche. Le composant 0.10 Hz de la VRC révèle également des variations d'effort émotionnel et d'éveil, ce qui rend cet indicateur insuffisant pour évaluer la sensibilité de la charge (différents niveaux de difficultés de la tâche) et sa diagnosticité (différents types de tâche) (Nickel & Nachreiner, 2003). Par conséquent, la mesure la plus directe et la plus sensible à la charge semble être l'ECG, bien que le choix de la mesure dépende du niveau d'analyse, i.e. granularité fine requise pour l'évaluation de la charge de travail.

1.2.2 Effets de la complexité de la situation sur les indicateurs physiologiques de charge de travail

Les études suivantes ont analysé les effets de la complexité des situations sur la charge de travail objective et les performances. L'électrocardiogramme (ECG) corrélé à la charge de travail étant l'outil le plus communément utilisé, seules les études l'utilisant sont présentées. Différents patterns de résultats ont été trouvés.

D'après plusieurs études, la complexité de la situation augmentait la charge de travail objective avec une hausse de la fréquence cardiaque moyenne (Collet, Clarion, Morel, Chapon, & Petit, 2009 ; Liu & Lee, 2006 ; Mehler, Reimer, & Wang, 2011 ; Reimer, Mehler, Coughlin, Roy, & Dusek, 2011) et de la fréquence cardiaque différentielle (Liu & Lee, 2006) lors du passage d'une simple tâche à une double tâche. La plupart des situations complexes étudiées ci-dessus dégradaient les performances de conduite avec une augmentation des SDLP (Reimer et al., 2011) et des déviations standards des mouvements du volant (Liu & Lee, 2006), même avec la mise en place d'une stratégie compensatoire de réduction de la vitesse (Liu & Lee, 2006). Dans ces situations complexes de double tâche, le traitement de l'information était long et sériel, ce qui a probablement altéré l'activité de conduite avec une diminution de contrôle de la position du véhicule. Parallèlement à la hausse de la fréquence cardiaque moyenne, ces études ont révélé des dégradations de performances à la double tâche

avec une diminution du taux de réponses correctes à la tâche secondaire (Mehler et al., 2011) et un allongement des Temps de Réaction (TR) en double tâche (Collet et al, 2009). Les longs TR pouvaient attester du fait que les situations complexes demandent un traitement contrôlé de l'information, nécessaire pour la prise de décision et les manœuvres en conduite (tâches des 1^{er} et 2^e niveaux, voir Michon, 1985). Cependant, cette interprétation doit être nuancée dans la mesure où Watson et Strayer (2010) ont identifié des “supertaskers” qui peuvent simultanément réussir à plusieurs tâches sans aucune dégradation des performances. Cette variabilité inter-individuelle pourrait expliquer que certains conducteurs soient capables de réaliser correctement plusieurs tâches en situation très complexe.

Contrairement aux attentes, deux études ont montré que la Variabilité du Rythme Cardiaque (VRC) et son composant 0.10 Hz n'étaient pas impactés dans le même sens. En effet, d'une part, la complexité de la situation n'avait pas d'effet sur la VRC (Mehler et al., 2011), ou l'augmentait (valeur inversée pour des raisons de compatibilité) uniquement en périodes d'activité comparativement à des périodes de repos (Nickel & Nachreiner, 2000). Cela révélait donc une hausse de la charge de travail objective entre des niveaux importants de complexité, probablement due au fait que la VRC est principalement sensible à des différences importantes de niveaux de difficulté de la tâche. D'autre part, le composant 0.10 Hz de la VRC ne variait pas toujours entre les différents types de tâche (Nickel & Nachreiner, 2000), et indiquait même parfois une baisse de la charge de la simple tâche à la double tâche (Nickel & Nachreiner, 2003). Cependant, les résultats ont montré de meilleures performances aux tâches faciles comparativement aux tâches difficiles avec des Temps de Réaction plus courts et moins d'erreurs (Nickel & Nachreiner, 2000, 2003). Ces résultats confirment que le composant 0.10 Hz de la VRC ne présente pas toujours une bonne diagnosticité de la charge de travail, et n'évalue probablement pas exclusivement le niveau de charge. Les niveaux émotionnels et d'éveil influençaient probablement ce composant 0.10 Hz. De plus, les TR courts aux tâches faciles attestent de la rapidité de la réalisation de la tâche probablement due à un traitement automatique.

Ces études confirment la relation positive entre la complexité de la situation et les mesures physiologiques corrélées à la charge de travail. Cependant, cette relation était uniquement observée avec la moyenne de la fréquence cardiaque et le différentiel de la fréquence cardiaque. La complexité de la situation entraînait également des dégradations de performance. A notre connaissance, aucune étude n'a considéré l'effet unique de l'expérience de conduite sur les mesures physiologiques de la charge de travail (électrocardiogramme). En

effet, l'effet de l'expérience a été étudié sur les mesures subjectives et physiologiques de la charge. Dans le paragraphe suivant, des études comparant les effets de la situation et de l'expérience sur les mesures subjectives et objectives de la charge de travail sont présentées.

1.3. Comparaisons entre mesures subjectives et physiologiques

1.3.1 Effets de la complexité de la situation sur les mesures subjectives et physiologiques de la charge de travail et les performances

Dans l'étude de Dijksterhuis, Brookhuis et De Waard (2011), la hausse de la complexité de la situation (réduction de la largeur de la voie) augmentait uniquement l'effort subjectif mais pas la moyenne de la fréquence cardiaque. De plus, contrairement aux attentes, la hausse de la complexité améliorait les performances avec un meilleur contrôle de la position latérale du véhicule. La situation complexe aidait donc les conducteurs pour le contrôle de leur trajectoire, bien qu'ils surestimaient probablement leur charge de travail physiologique avec un sentiment d'effort important. Dans la même étude, avec une autre variation de complexité de la situation, i.e. d'une faible densité de trafic arrivant en sens inverse à une forte densité, une hausse de l'effort subjectif et une baisse de la charge de travail objective caractérisée par une baisse de la fréquence cardiaque moyenne et une hausse de la VRC étaient observées, ainsi qu'une amélioration des performances (diminution des SDLP). Les conducteurs surévaluaient donc leur effort, probablement car ils devaient traiter davantage d'informations avec une forte densité de trafic, percevant ainsi une charge supplémentaire mais qui n'apparaissait pas physiologiquement. D'autres études ont également montré que la hausse de la complexité de la situation augmentait la charge de travail subjective et diminuait la charge de travail objective avec une hausse de l'intervalle inter-battements et du composant 0.10 Hz de la VRC (Brookhuis, Van Driel, Hof, Van Arem, & Hoedemaeker, 2008), ou encore avec une hausse de la VRC et aucune variation de la moyenne de la fréquence cardiaque (Gabaude et al., 2012). Ces résultats révèlent que généralement, les conducteurs surestiment leur charge de travail. Ils ressentent probablement un coût pour réaliser la tâche malgré la non-modification de leur état interne physiologique.

Dans une autre étude (De Waard, Dijksterhuis, & Brookhuis, 2009), la hausse de la complexité de la situation (augmentation de la densité de poids lourds) avait un impact différent sur la charge de travail et les performances, en fonction de la section de route. Sur la

voie d'accélération, durant l'insertion dans le trafic et durant la sortie du trafic, l'augmentation du nombre de poids lourds augmentait l'effort subjectif mais pas la moyenne de la fréquence cardiaque ni le composant 0.10 Hz de la VRC. Les conducteurs adoptaient systématiquement la stratégie compensatoire de réduction de leur vitesse face à la complexité de la situation. Cette stratégie avait différents effets sur les performances en fonction des sections de route. Sur la voie d'accélération, cela leur permettait de maintenir de bonnes performances avec un meilleur contrôle de la position latérale et de la vitesse de leur véhicule. En sortant du trafic, ils assuraient également un meilleur contrôle de leur vitesse ainsi que des marges de sécurité constantes. Durant l'insertion dans le trafic, des dégradations de performance étaient observées avec un faible contrôle de la position latérale et une réduction des marges de sécurité qui augmentaient le risque d'accident. Durant la section de route incluant une manœuvre de changement de voie pour sortir du trafic, la complexité n'avait aucun effet sur l'effort subjectif mais augmentait la fréquence cardiaque moyenne et diminuait le composant 0.10 Hz de la VRC suggérant un haut niveau objectif de charge de travail. Par conséquent, la même complexité produisait des niveaux de charge de travail variables qui étaient ressentis différemment en fonction du type de sections de la route. De plus, une complexité élevée introduite avant l'insertion dans le trafic n'augmentait pas les niveaux subjectifs et objectifs de la charge de travail durant l'insertion dans le trafic, avec cependant une réduction des marges de sécurité effectuée par les conducteurs. À l'inverse, une faible complexité introduite avant l'insertion dans le trafic réduisait l'effort subjectif et, de manière inattendue, la stratégie compensatoire de réduction de la vitesse n'améliorait pas les performances de conduite avec un faible contrôle de la position latérale et une réduction des marges de sécurité (De Waard et al., 2009). Par conséquent, la tâche d'insertion était difficile quelle que soit la complexité rencontrée préalablement.

En résumé, plusieurs études ont montré que la complexité élevée des situations de conduite augmentait à la fois les niveaux subjectifs et objectifs de la charge de travail, indiquant que les conducteurs avaient une évaluation correcte de leur état physiologique. Cependant, la plupart d'entre elles révélaient que la hausse de la complexité de la situation augmentait uniquement le niveau subjectif de charge de travail. De plus, les performances étaient souvent améliorées, probablement dû au fait que la difficulté supplémentaire de la tâche entraînait une concentration élevée sans toutefois utiliser des ressources trop importantes. Ces études étaient menées sur des conducteurs expérimentés mais une différence avec les conducteurs novices devrait apparaître.

1.3.2 Effets de l'expérience sur les mesures subjectives et physiologiques de la charge de travail et les performances

De Waard, Kruizinga et Brookhuis (2008) ont montré que, quel que soit le niveau d'expérience des conducteurs, la hausse de la complexité de la situation (davantage de poids lourds) lors d'une tâche d'insertion dans le trafic augmentait l'effort subjectif mais n'avait aucun effet sur la fréquence cardiaque moyenne et diminuait même la charge de travail objective avec une augmentation du composant 0.10 Hz de la VRC. La complexité de la situation entraînait donc un effort ressenti qui n'apparaissait pas physiologiquement, probablement à cause d'une résilience au niveau physiologique par rapport à la situation jugée comme étant trop difficile pour pouvoir réaliser la tâche. Néanmoins, comparativement aux périodes précédant et succédant l'insertion dans le trafic, le moment d'insertion augmentait la charge de travail objective avec une hausse de la fréquence cardiaque moyenne et une baisse du composant 0.10 Hz de la VRC. Ceci pouvait s'expliquer par une différence importante de difficulté avec un haut niveau de charge durant l'insertion comparativement à un bas niveau de charge avant et après l'insertion. Généralement, les conducteurs ralentissaient mais leurs performances étaient altérées avec une hausse de la variation de vitesse et une diminution des marges de sécurité. Les conducteurs expérimentés produisaient davantage de variations de vitesse que les novices. Dans cette étude, l'absence d'une grande distinction en fonction de l'expérience des conducteurs était probablement due au fait que les novices avaient déjà leur permis depuis deux ans et avaient donc déjà acquis une certaine compétence de conduite. Avec uniquement des conducteurs novices, une autre étude a montré que la hausse de la complexité de la situation n'avait pas d'effet sur l'effort subjectif ni sur la VRC bien qu'elle entraînait un raccourcissement des intervalles inter-battements. Ainsi, les novices sous-estimaient probablement leur charge de travail, ce qui provoquait des dégradations de performance en double tâche (Veltman & Gaillard, 1996).

En résumé, la hausse de la complexité de la situation dégradait toujours les performances des conducteurs novices, même s'ils sous-estimaient ou surestimaient leur charge. Néanmoins, peu d'études ont comparé des conducteurs novices à des plus expérimentés. Il est donc important de nuancer ces résultats.

2. Anxiété

2.1. Anxiété subjective

2.1.1 Questionnaires : outils de mesure

Plusieurs questionnaires mesurent les niveaux subjectifs d'anxiété ou de tension (combinaison de l'anxiété et de la fatigue d'après Watson et Tellegan, 1985 ; in Robert & Hockey, 1997). Ces questionnaires peuvent évaluer l'anxiété trait, relative à la personnalité et plutôt stable dans le temps, et/ou l'anxiété état, relative à une situation. Les questionnaires utilisés en psychopathologie ne sont pas présentés ici.

L'inventaire d'anxiété Etat-Trait de forme Y (« State-Trait Anxiety Inventory – Form Y » : STAI-Y ; Spielberger, 1983) comprend 40 items, dont la moitié mesurent l'anxiété état (état transitoire d'anxiété dû à une situation) et l'autre moitié mesurent l'anxiété trait (trait de personnalité stable). La forme Y de ce questionnaire est une version supprimant les items liés à la dépression. Une échelle de Likert range les scores de 1 (pas du tout) à 4 (extrêmement). L'homogénéité interne est élevée pour l'anxiété état (e.g. 'Je me sens tendu', 'Je suis inquiet') et l'anxiété trait (e.g. 'J'ai un manque de confiance en moi', 'Je suis satisfait de moi').

➤ *Questionnaires mesurant l'anxiété trait*

L'inventaire « Beck Anxiety Inventory » (BAI ; Beck, Epstein, Brown, & Steer (1988) mesure le niveau d'anxiété durant la vie d'un individu. Il mesure donc le niveau d'anxiété trait. Les symptômes d'anxiété de la semaine précédente sont évalués sur une échelle de Likert en 4 points (0 = pas du tout, 1 = légèrement, 2 = moyennement, 3 = extrêmement). Ce questionnaire a une forte homogénéité interne, il est concis (21 items) et il distingue bien l'anxiété de la dépression (Steer, Ranieri, Beck, & Clark, 1993). Il est souvent utilisé pour une mesure clinique de l'anxiété.

Le questionnaire Jackson-5 (J5 ; Jackson, 2009) évalue les traits de personnalité, dont la sensibilité aux indices menaçant qui est apparentée à l'anxiété. Le J5 est basé sur la théorie de renforcement de la sensibilité (r-RST) revue par Gray et McNaughton en 2000. D'après cette théorie, le comportement est régulé par trois systèmes biologiques (« Fight/Flight/Freezing » ou FFFS). Le questionnaire permet ainsi de différencier l'agression

défensive (Fight : riposter en retour d'une agression verbale, physique ou mentale), la fuite (Flight : échapper aux stimuli déplaisants), et la cessation d'activité (Freezing : arrêt de l'activité mentale ou physique face aux stimuli déplaisants). Le questionnaire est composé de 30 items rangés sur une échelle de Likert en 5 points de 1 (complètement en désaccord) à 5 (complètement en accord). La validité de ce questionnaire a été attestée.

L'inventaire d'anxiété du conducteur « Driver Stress Inventory » (DSI ; Matthews, Desmond, Joyner, Carcary, & Gilliland, 1997) comprend cinq dimensions traits de l'humeur en conduite: 1/ l'agressivité (émotions négatives telles que la colère, la frustration et l'impatience), 2/ l'aversion pour la conduite (bouleversement, inquiétudes et croyances négatives à propos des compétences personnelles), 3/ la surveillance du danger (conscience du risque et surveillance des dangers potentiels), 4/ la recherche de sensations (expérimenter un affect positif à travers des comportements dangereux), et 5/ la propension à la fatigue (sommolence auto-rapportée, ennui, retard des temps de réaction).

➤ *Questionnaires mesurant l'anxiété état*

Des échelles d'anxiété unidimensionnelles sont utilisées (Nibbeling, Oudejans, & Daanen, 2012) afin d'évaluer l'anxiété sur une échelle allant de 'pas du tout anxieux' à 'extrêmement anxieux'. Ce type d'échelles centre l'auto-évaluation sur l'anxiété au moment présent mais ne prend pas en considération les différents aspects de l'anxiété. C'est pourquoi différents questionnaires se sont basés sur des échelles multidimensionnelles.

Le « Driving Behavior Survey » (DBS ; Clapp, Olsen, Beck, Palyo, Grant, Gudmundsdottir, & Marques, 2011) évalue trois dimensions de l'anxiété en conduite: 1/ le comportement de sécurité/prudence exagéré, 2/ les déficits de performance basés sur l'anxiété, et 3/ le comportement hostile/agressif. Les items identifient la fréquence d'un comportement dans un domaine particulier et sont rangés sur une échelle de Likert de 1 (jamais) à 7 (toujours). Ce questionnaire présente une validité factorielle, une homogénéité interne et des associations convergentes (Clapp et al., 2011).

Le questionnaire d'anxiété état de Dundee « Dundee Stress State Questionnaire » (DSSQ ; Matthews, Joyner, Gilliland, Campbell, Falconer, & Huggins, 1999) est basé sur les trois domaines de l'esprit pouvant caractériser l'anxiété, i.e. l'affect, la motivation et la cognition. Trois dimensions de l'anxiété sont ainsi évaluées : 1/ l'engagement dans la tâche (éveil énergétique, intérêt pour la tâche, motivation au succès, et concentration), 2/ le bouleversement (tension, hédonisme, et confiance-contrôle), et 3/ l'inquiétude (l'auto-

concentration, l'auto-estime, et l'interférence cognitive). Le court questionnaire d'anxiété état « Short Stress State Questionnaire » (SSSQ ; Helton, 2004) est une version courte du DSSQ. Il comprend 24 items chacun rangé sur une échelle de Likert en cinq points. Trois dimensions de l'anxiété sont évaluées : 1/ l'engagement qui reflète les composants cognitifs (concentration) et énergétiques/motivationnels (alerte, motivation), 2/ le bouleversement qui reflète les composants cognitifs (confiance perçue et contrôle) et affectifs (hédonisme et éveil tendu), et 3/ l'inquiétude qui reflète une dimension cognitive (pensées reliées et non reliées à la tâche, estime de soi et interférence cognitive). Ces trois dimensions permettent de rendre compte de l'état d'anxiété du jour et de l'anxiété corrélée à la performance de navigation spatiale (Helton & Garland, 2006).

Le questionnaire « Mental Readiness Form-Likert » (MRF-L ; Krane, 1994) permet d'évaluer le niveau d'anxiété juste avant et durant la réalisation d'une tâche. Le MRF-L comprend trois dimensions rangées sur une échelle de Likert en 11 points, allant de inquiet à pas inquiet pour la dimension « anxiété cognitive », de tendu à non tendu pour la dimension anxiété somatique, et de confiant à non confiant pour la dimension confiance en soi.

L'échelle « Activation Deactivation Adjective Check List » de Thayer (1986) évalue quatre dimensions, dont l'hyper-activation indiquant le niveau subjectif de tension. Cette dimension comprend cinq adjectifs (mal à l'aise, inquiet, énervé, tendu, et crispé) rangés sur une échelle en quatre points (« je me sens très », « je me sens un peu », « je ne sais pas », et « je ne me sens pas du tout »).

2.1.2 Effets de la complexité de la situation sur l'anxiété subjective et les performances

Plusieurs études ont montré les effets néfastes de l'anxiété trait sur le comportement de conduite auto-rapporté. En effet, un haut niveau subjectif d'anxiété trait liée à la conduite et aux inquiétudes de la vie prédisait une augmentation des risques en conduite avec une hausse des défaillances et des violations du code de la route (Rowden, Matthews, Watson, & Biggs, 2011). La hausse du niveau d'anxiété trait durant la semaine précédant l'expérience de conduite (niveaux faible vs. moyen vs. élevé) augmentait également la dimension « conduite à risque » évaluée par un questionnaire de conduite dangereuse (Dula, Adams, Miesner, & Leonard, 2010). De plus, les dimensions « conduite agressive » et « conduite en état d'ivresse » ainsi que le score total du questionnaire de conduite dangereuse étaient plus faibles pour les groupes d'anxiété faible et moyenne que pour le groupe d'anxiété élevée. La

hausse d'anxiété subjective prédisposerait donc à un comportement de conduite à risque auto-rapporté.

D'autres études se sont intéressées aux effets néfastes de l'anxiété état sur les performances de conduite. Ainsi, une induction d'anxiété, i.e. préparation d'un discours, augmentait le niveau subjectif d'anxiété état qui à son tour faisait diminuer la distance de freinage au passage signalé d'un piéton. A contrario, l'induction de relaxation, i.e. musique, diminuait l'anxiété subjective qui n'avait alors aucun effet sur la distance de freinage (Morton & White, 2012). L'anxiété subjective induite par la situation anxiogène entraînait donc une prise de risque en conduite. Dans une expérience de réalité virtuelle avec une tâche de navigation simulée (Mañano, Therme, & Mestre, 2011), le niveau subjectif d'anxiété état augmentait de la session 1 non aversive à la session 2 contenant une stimulation aversive (i.e., présence de feu, d'un écran de fumée, et d'une alarme d'avertissement dans un couloir). La situation anxiogène avait donc bien un effet sur l'anxiété ressentie à ce moment-là. De plus, les performances étaient dégradées avec une augmentation de la variabilité de la vitesse et de la trajectoire dans le couloir de la session 2 présentant la stimulation aversive, comparativement à la session 1 non aversive. Conformément à nos attentes, les situations anxiogènes choisies dans ces études augmentaient le niveau subjectif d'anxiété état et entraînaient soit un comportement à risque soit une dégradation des performances. De plus, le caractère anxiogène d'une situation peut dépendre de sa rareté et de la grande flexibilité de comportement exigée. En effet, une étude a montré que les situations avec de mauvaises conditions climatiques ainsi que celles comprenant des interactions avec d'autres conducteurs (e.g., ralentir puis freiner en fonction des autres véhicules) provoquaient une hausse subjective d'anxiété état (Hill & Boyle, 2007). Cependant, aucun effet n'était observé concernant les situations complexes avec des tâches de manœuvres aux intersections, des routes de montagnes, ou une visibilité limitée, i.e. de nuit ou conduite proche d'un camion. Par conséquent, la complexité de la situation favorisait d'autant plus un niveau élevé d'anxiété lorsque les situations n'étaient pas habituelles. Le manque d'expérience devrait donc susciter une hausse de l'anxiété.

2.1.3 Effets de l'expérience sur l'anxiété subjective et les performances

Quelques études ont été menées sur les effets de l'expérience sur les performances de conduite face à une situation dangereuse anxiogène, et sur l'anxiété subjective et les performances en conduite. Ainsi, aucune différence n'a été observée entre des novices et des

expérimentés concernant le jugement de conflits routiers potentiels sur la base d'indices anticipateurs d'accidents potentiels. Grâce à ces indices, les conducteurs réussissaient donc tous à déterminer la probabilité qu'un accident se produise lorsqu'ils répondaient. Les novices répondaient cependant moins fréquemment et plus lentement face au danger. Ils avaient donc besoin d'une situation plus dangereuse et anxiogène pour remarquer sa dangerosité et la classer comme telle. Ces résultats confirment donc le modèle du biais de la réponse d'après lequel les novices peuvent avoir des réactions très rapides mais sous-évaluent le danger et sont donc plus lents pour réagir face à des situations dangereuses (Wallis & Horswill, 2007).

Chez de jeunes apprenants, l'augmentation de la pression d'évaluation inhérente à chaque situation (leçon de conduite, examen blanc, examen officiel) augmentait l'anxiété subjective. Cette augmentation de l'anxiété était supérieure pour les individus qui échouaient l'examen officiel que pour ceux qui le réussissaient (Fairclough et al., 2006), confirmant ainsi un effet négatif de l'anxiété subjective sur les performances des novices.

Les conducteurs novices auraient donc tendance à sous-évaluer le danger et donc à y réagir moins rapidement que les conducteurs expérimentés. De plus, lorsque les novices identifiaient une situation comme étant anxiogène, ils atteignaient un haut niveau subjectif d'anxiété qui dégradait leurs performances de conduite.

2.2. Anxiété objective

2.2.1 Indicateurs physiologiques : outils de mesure

Plusieurs mesures physiologiques sont utilisées afin de caractériser un niveau objectif d'anxiété.

➤ *Electrocardiogramme*

L'électrocardiogramme (ECG) peut être utilisé pour mesurer le niveau d'anxiété avec deux indicateurs, i.e. la fréquence cardiaque moyenne et la variabilité du rythme cardiaque (VRC). Il a ainsi été démontré que la hausse de la variabilité du rythme cardiaque (VRC) augmente le niveau d'anxiété ressenti (Lawler, 1980). La principale limite de cet indicateur est qu'il faut

s'assurer au préalable que la fréquence cardiaque moyenne et la VRC ne traduisent pas un changement de la charge de travail, mais bien du niveau d'anxiété associé à la tâche.

➤ *Taux de cortisol*

Un prélèvement salivaire à l'aide de bandelettes permet d'identifier le niveau de cortisol relié à un état de stress physiologique. Cependant, le niveau de cortisol a un déclin circadien graduel durant la journée et il est nécessaire d'effectuer le prélèvement à la même heure pour l'ensemble des participants (Ljungberg & Neely, 2007).

➤ *Activité électrodermale*

Un capteur de l'activité électrodermale comprenant deux électrodes placées à la surface cutanée de l'index et du majeur permet d'enregistrer la sudation sécrétée par les glandes sudoripares « eccrines », qui reflète l'activité électrique du système nerveux autonome. Deux mesures sont à distinguer : 1/ l'amplitude moyenne (en μV) de l'activité électrodermale tonique (à long terme), corrélée au niveau subjectif d'anxiété et représentant un indicateur physiologique stable de l'anxiété (Lawler, 1980), et 2/ l'amplitude moyenne (en μV) des pics de l'activité électrodermale phasique (à court terme), spécifiques (en réponse à un stimulus) ou non spécifiques (réactions spontanées). Des facteurs environnementaux tels que la température, le moment de la journée, ou encore le taux d'humidité peuvent influencer l'activité électrodermale (Hot, Naveteur, Leconte, & Sequeira, 1999).

2.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la tension objective et les performances

Seules les études utilisant l'activité électrodermale pour identifier le niveau de tension sont énoncées.

Une étude a confirmé qu'une tâche cognitive complexe augmentait uniquement l'activité électrodermale durant sa réalisation, tandis qu'un évènement anxiogène augmentait uniquement la réponse électrodermale (Kilpatrick, 1972). Une autre étude a révélé que la condition anxiogène (se rapprocher d'un serpent avec 8 essais) augmentait l'activité électrodermale uniquement lors des premiers essais (Rose, McGlynn, & Lazarte, 1995), suggérant ainsi une possibilité d'amélioration avec l'habituation. Il est donc à noter que la

répétition d'une même condition anxiogène peut diminuer le niveau physiologique d'anxiété dans le temps.

Il est également intéressant d'observer que l'environnement peut moduler le niveau physiologique d'anxiété provoqué par un événement anxiogène. En effet, nous pouvons comparer deux environnements de conduite, i.e. avec des artefacts vs. avec des éléments naturels. De manière générale, le fait de visionner des situations de conduite dominées par un environnement comprenant des artefacts entraînait une activité électrodermale plus élevée que le fait de visionner des situations de conduite dominées par un environnement naturel. Plus particulièrement, suite à un événement anxiogène (film sur la prévention routière ou double tâche auditive) provoquant une hausse de la réponse électrodermale, les participants regardant des situations de conduite dominées par un environnement constitué d'artefacts avaient une activité électrodermale qui diminuait beaucoup moins rapidement que ceux regardant des situations de conduite constituées d'un environnement naturel. A l'inverse, la réponse électrodermale provoquée par un événement anxiogène (film sur la prévention routière ou double tâche auditive) était soit augmentée si les participants avaient regardé des situations de conduite avec un environnement dominé par des artefacts, soit diminuée s'ils avaient regardé des situations avec un environnement naturel avant la présentation de l'événement anxiogène (Parsons, Tassinary, Ulrich, Hebl, & Grossman-Alexander, 1998). L'environnement naturel de conduite étant plus apaisant permettrait donc d'abaisser l'anxiété générée par un événement anxiogène.

Nous pouvons nous demander quelles sont les conséquences du niveau physiologique d'anxiété sur les performances.

Une étude a ainsi révélé la nécessité d'avoir un certain niveau physiologique d'anxiété pour avoir de bonnes performances de conduite. Lors d'une situation critique d'évitement d'accident, les conducteurs évitant l'obstacle avaient une activité électrodermale plus élevée que ceux qui provoquaient un accident. Un certain niveau physiologique d'anxiété était donc probablement nécessaire pour être suffisamment alerte pour réagir à temps lors de la situation critique (Collet, Petit, Priez, & Dittmar, 2005).

Il est donc important de bien différencier une tâche anxiogène provoquant une hausse de l'activité électrodermale, d'un événement anxiogène entraînant une réponse électrodermale spécifique à l'événement. A partir de cette différenciation, nous avons vu que la tâche réalisée avant et après l'événement modulait la réponse électrodermale spécifique à l'événement et

réciproquement, la réponse électrodermale due à l'évènement influençait l'activité électrodermale après l'évènement. De plus, un certain niveau physiologique d'anxiété serait nécessaire pour avoir de bonnes performances en situation critique d'accident de la route. Il est donc intéressant de savoir si l'expérience de conduite permet d'atteindre ce niveau nécessaire d'activité électrodermale.

2.1.3 Effets de l'expérience sur l'anxiété objective et les performances

Les variations de l'activité électrodermale ne seraient pas uniquement dues aux conditions routières mais plutôt à l'expérience de conduite. En effet, une étude a montré que l'activité électrodermale variait très peu en fonction du flux de trafic, du nombre de virages et du nombre de voies de circulations mais qu'une hausse d'activité électrodermale s'observait au fur et à mesure de la distance parcourue (Taylor, 1964). Le nombre de kilomètres parcourus et donc l'expérience de conduite permettraient donc d'augmenter le niveau physiologique d'anxiété, qui est probablement nécessaire pour avoir de bonnes performances de conduite.

Les études portant sur l'influence de situations anxiogènes sur l'activité électrodermale en fonction de l'expérience de conduite s'interrogent souvent sur les conséquences au niveau de la perception du danger, et non au niveau des performances de conduite.

L'étude énoncée ici nous révèle que l'expérience devrait aider les conducteurs à atteindre un niveau physiologique d'anxiété suffisant pour adopter un comportement de conduite adapté. Des comparaisons entre les données subjective et physiologique d'anxiété sont par ailleurs intéressantes afin de déterminer si les niveaux subjectif et objectif varient de manière identique et s'ils ont des effets similaires sur les performances.

2.3. Comparaisons entre mesures subjectives et physiologiques

2.3.1 Effets de la complexité de la situation sur les mesures subjectives et physiologiques de l'anxiété et les performances

Deux études ont testé l'effet de situations de conduite anxiogènes sur les niveaux physiologique et subjectif d'anxiété.

Dans la première étude, l'anxiété du conducteur était mesurée physiologiquement (réponse électrodermale) et subjectivement, par rapport à un avertisseur sonore prévenant les piétons de la présence d'un véhicule hybride ou électrique. Les niveaux physiologique et subjectif étaient plus élevés lorsque l'avertisseur sonore artificiel était activé manuellement que lorsqu'il était activé automatiquement ou qu'il correspondait à un son non artificiel. Ainsi, le fait de devoir activer l'avertisseur manuellement en présence d'un piéton exigeait des manœuvres physiques supplémentaires à celles effectuées habituellement pour la conduite. L'effort fourni par le conducteur était donc source d'anxiété (Cottrell & Barton, 2012).

Dans la deuxième étude, un conflit d'objectifs entre le fait de devoir conduire rapidement et avec une sûreté importante entraînait une hausse de l'anxiété au niveau subjectif et physiologique (hausse de la réponse électrodermale). Il est à noter qu'avec l'augmentation du conflit, l'anxiété ne cessait d'augmenter, et ce même après réduction de la vitesse (Schmidt-Daffy, 2012).

Ces deux études révèlent que les niveaux physiologique et subjectif d'anxiété augmentent de la même manière face à des situations anxiogènes et/ou demandant un certain effort.

2.3.2 Effets de l'expérience sur les mesures subjectives et physiologiques de l'anxiété et les performances

Les études portant sur l'effet de l'expérience étant peu nombreuses, des résultats concernant uniquement l'impact du danger sur le comportement en fonction de l'expérience sont énoncés.

Lors d'une tâche de dépassement d'un bus sur une route dangereuse avec des virages et des côtes, en comparaison avec les conducteurs novices non entraînés, les conducteurs entraînés traversaient moins fréquemment la section centrale de la route à un endroit non

sécurisé. De même, lors d'une tâche de suivi de véhicule, les conducteurs entraînés réduisaient leur vitesse à l'approche des piétons en bordure de route (Dorn & Barker, 2005).

Face au danger, les conducteurs expérimentés adoptaient donc un comportement davantage prudent que les conducteurs novices.

3. Vigilance

3.1. Vigilance subjective

3.1.1 Questionnaires : outils de mesure

Plusieurs questionnaires sont utilisés pour mesurer le niveau de fatigue associé à la baisse de vigilance, le niveau de somnolence, le niveau subjectif de vigilance optimal en fonction de la journée, ou encore le niveau de vigilance au moment présent.

➤ *Questionnaire mesurant la fatigue*

L'inventaire suédois de fatigue occupationnelle « Swedish Occupational Fatigue Inventory-20 » (SOFI ; Aahsberg, 1998) est composé de 5 dimensions, i.e. inconfort physique, effort physique, manque d'énergie, manque de motivation, et endormissement. Chaque dimension comprend 4 questions avec une échelle de Likert en 7 points allant de 0 (pas du tout) à 6 (extrêmement).

➤ *Questionnaires mesurant la somnolence*

L'échelle de somnolence d'Epworth (Johns, 1991) évalue la somnolence diurne. Huit questions sont évaluées sur une échelle de Likert en 4 points allant de 0 (pas de risque de s'assoupir) à 3 (grande chance de s'assoupir).

L'échelle de somnolence Karolinska « Karolinska Sleepiness Scale » (KSS; Åkerstedt & Gillberg, 1990) évalue la somnolence au moment présent, avec une échelle de Likert en 9 points allant de 1 (très bien éveillé) à 9 (très endormi, très peu capable de réagir luttant contre le sommeil).

L'échelle de somnolence Stanford « Stanford Sleepiness Scale » (Hoddes, Zarcone, Smythe, Phillips, & Dement, 1973) mesure la somnolence à travers 7 jugements décrivant une augmentation graduelle du sentiment de somnolence, rangés sur une échelle de « se sentir actif, vital, alerte, ou grandement éveillé » à « ne luttant plus contre le sommeil, s'endormir bientôt, avoir des pensées oniriques ».

➤ *Questionnaire mesurant la vigilance en fonction du moment de la journée*

Le questionnaire du matin - du soir « Morningness-Eveningness Questionnaire » (MEQ ; Horne & Ostberg, 1976) permet d'identifier les rythmes circadiens de chaque individu afin de les classer plutôt comme étant matinaux ou vespéraux (du soir). Cinq chronotypes sont ainsi distingués en fonction de leur niveau optimal de vigilance, i.e. « assurément du matin », « modérément du matin », « ni du matin ni du soir », « modérément du soir », et « assurément du soir ». L'auto-évaluation s'effectue sur 19 questions à choix multiples (4 à 6 choix).

➤ *Questionnaires mesurant la vigilance au moment présent*

D'autres échelles ont davantage ciblées l'évaluation du niveau de vigilance au moment présent.

Les échelles visuelles analogiques (en cm) évaluent ce niveau (Bond & Lader, 1974) de manière unidimensionnelle.

L'échelle « Activation Deactivation Adjective Check List » de Thayer (1986) évalue le niveau de vigilance au moment présent de manière multidimensionnelle. Pour cela, le rapport entre les dimensions Activation Générale (actif, énergique, dynamique, la pêche, et en forme) et Désactivation Sommeil (endormi, fatigué, attentif, somnolent, et éveillé) (GA/DS) indique le niveau de vigilance. Pour chacune de ces deux dimensions, les cinq adjectifs sont évalués sur une échelle de Likert en 4 points allant de « je me sens très » à « je ne me sens pas du tout ».

3.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la vigilance subjective et les performances

De nombreuses études se sont centrées sur l'hypovigilance en conduite. Par exemple, une étude a révélé que, sur autoroute monotone, la hausse subjective d'endormissement, les TR représentant la détérioration de l'alerte et les performances de conduite instables augmentaient dans le temps et rendaient la conduite insécurisée au-delà de 80 min (Ting et al., 2008).

Il a également été démontré qu'en conduite monotone, la trajectoire devenait moins stable dans le temps, certainement dû à une baisse de vigilance. Cependant, l'introduction d'une tâche concurrente permettait un maintien de trajectoire (Atchley & Chan, 2011). La complexité supplémentaire améliorerait donc probablement la vigilance grâce au coût cognitif qu'elle produisait dans l'environnement monotone.

Toutefois, une conduite prolongée provoquait une hausse du niveau subjectif de somnolence et de fatigue, sans pour autant dégrader les performances de conduite (faible déviation standard de la vitesse), et avec une vitesse moyenne constante dans le temps (Di Stasi, Renner, Catena, Cañas, Velichkovsky, & Pannasch, 2012). Ainsi, le niveau de vigilance n'était certainement pas suffisamment bas pour altérer les performances de conduite, et la hausse de la fatigue mentale diminuait probablement la conscience des risques potentiels (Bandura, 1997).

En situation de conduite prolongée, la baisse de vigilance subjective dégradait donc les performances de manière exponentielle dans le temps, à moins qu'un ajout de complexité permette de pallier cette baisse par le coût engendré. Cependant, peu d'études se sont centrées sur des variations du niveau de vigilance en situation de conduite assez complexe et de courte durée.

3.1.3 Effets de l'expérience sur la vigilance subjective et les performances

Une étude a montré que les conducteurs novices avaient une forte hausse subjective de somnolence à 3h du matin, qui ralentissait la perception du danger, contrairement aux expérimentés dont la hausse subjective mineure de somnolence n'affectait pas les TR face au danger (Smith et al., 2009). La perception tardive du danger due à la baisse de vigilance des novices diminuait donc leurs capacités d'anticipation par rapport aux expérimentés.

Face à un même danger, les conducteurs novices seraient donc davantage marqués par la baisse de vigilance subjective que les conducteurs expérimentés, donnant lieu à des dégradations de performances.

3.2. Vigilance objective

3.2.1 *Indicateurs physiologiques : outils de mesure*

Plusieurs mesures physiologiques sont utilisées pour rendre compte du niveau de vigilance objective.

➤ *Electro-oculogramme*

L'électro-oculogramme permet d'enregistrer différents indicateurs traduisant une baisse de vigilance, i.e. lents mouvements latéraux des yeux (Santamaria & Chiappa, 1987b), clignements des yeux (Santamaria & Chiappa, 1987a), déclin des mouvements des yeux associés à des re-fixations (Schroeder & Holland, 1968), et diminution de la taille de la pupille (McLaren, Erie, & Brubaker, 1992).

➤ *Activité électrodermale*

Les variations de l'activité électrodermale peuvent être un indicateur de la vigilance dans la mesure où elles sont sensibles aux événements qui suscitent un niveau d'éveil important (Eysenck, 1982).

➤ *Electro-encéphalogramme*

L'électro-encéphalogramme (EEG) reste cependant le meilleur indicateur pour évaluer le niveau de vigilance (Horne & Reyner, 1995). Il permet d'évaluer les variations d'éveil durant une tâche. Ainsi, l'onde Alpha apparaît lors d'une période de détente et lorsque les yeux sont fermés. O'Hanlon et Kelley (1977) expliquent ainsi une faible amplitude d'Alpha au début d'une tâche nécessitant un niveau d'éveil élevé, puis une augmentation de l'amplitude d'Alpha au cours de la tâche, révélant une diminution du niveau d'éveil, et enfin une phase de décroissance de l'amplitude d'Alpha lorsque les participants s'endorment et que les ondes Thêta et Delta apparaissent. L'indice du niveau de vigilance est généralement calculé par le rapport des ondes (alpha + thêta) / beta, un rapport élevé traduisant un faible niveau de vigilance (Lal & Graig, 2001 ; Ryu et al., 2007). En effet, l'onde Beta indique un niveau de

vigilance élevée, notamment dû à la difficulté de la tâche, tandis que les ondes Alpha et Thêta reflètent respectivement des niveaux faible et très faible de vigilance.

3.1.2 Effets de la complexité de la situation sur la vigilance objective et les performances

Plusieurs études ont montré les effets délétères de la vigilance objective sur les performances de conduite, et ce en fonction du type de situations.

Durant des portions de route avec virages, le niveau objectif de vigilance (mesuré par le ratio $(\alpha + \theta) / \beta$) était plus élevé que durant des portions de route rectilignes. De plus, la baisse de vigilance objective augmentait le nombre d'accidents (Eoh, Chung, & Kim, 2005).

Une tâche complexe demandant un effort mental prolongé diminuait la vigilance objective (hausse de Thêta) malgré la hausse de Beta traduisant un niveau élevé de vigilance dû à la difficulté de la tâche, et dégradait les performances avec un allongement des TR (Smit, Eling, & Coenen, 2004).

Le niveau objectif de vigilance augmentait donc avec la complexité de la situation, hormis lorsque la tâche exigeait un effort mental important, avec dans ce cas une diminution de vigilance. Avec un faible niveau objectif de vigilance, les performances se détérioraient.

3.1.3 Effets de l'expérience sur la vigilance objective et les performances

A notre connaissance, aucune étude portant sur l'effet de l'expérience de conduite sur la vigilance objective (mesurée par un EEG) et les performances n'a été menée.

3.3. Comparaisons entre mesures subjectives et physiologiques

3.3.1 Effets de la complexité de la situation sur les mesures subjectives et physiologiques de la vigilance et les performances

Plusieurs études ont montré les effets d'une conduite prolongée sur les niveaux subjectif et objectif de vigilance.

Lors d'une épreuve de conduite prolongée, la vigilance subjective et objective (Alpha et Thêta) diminuait dans le temps (Connor et al., 2002 ; Otmani, Rogé, & Muzet, 2005).

Durant une conduite monotone, une tâche de rappel peu demandeuse diminuait le niveau objectif de vigilance (ratio Alpha/Beta) et augmentait le niveau subjectif de somnolence de conducteurs expérimentés (Oron-Gilad, Ronen, & Shinar, 2008).

Les performances de conduite peuvent également être impactées. En effet, après une privation de sommeil chez de jeunes conducteurs de 20 à 26 ans, la vigilance objective diminuait lors d'une tâche de conduite prolongée (hausse des ondes Alpha et Thêta), le niveau subjectif de somnolence tendait à augmenter, et les performances se dégradaient avec une hausse de sorties de voie (Filtiness, Reyner, & Horne, 2012).

En conduite prolongée, la vigilance subjective et objective diminuait de manière générale, avec une dégradation des performances. Des études portant sur des situations de conduite de courte durée et plus complexes seraient intéressantes afin d'identifier les variations de vigilance durant celles-ci.

3.3.2 Effets de l'expérience sur les mesures subjectives et physiologique de la vigilance et les performances

A notre connaissance, aucune étude portant sur l'effet de l'expérience de conduite sur la vigilance subjective et objective (mesurée par un EEG) et les performances n'a été menée.

CHAPITRE 4 : Problématique

1. Liens entre les facteurs accidentogènes

1.1. Situations et expérience de conduite

Nous avons identifié que les situations simples de conduite avec des tâches peu demandeuses font plutôt intervenir des processus de traitement automatique, tandis que les situations plus complexes avec des tâches fortement demandeuses impliquent davantage des traitements contrôlés de l'information. Ces modes de traitements sont modulés par le niveau d'expérience. Les conducteurs novices n'ont pas suffisamment acquis de compétences pour automatiser les tâches de conduite. Le traitement de l'information est donc plus contrôlé pour les novices et plus automatique pour les expérimentés (voir modèle de Rasmussen, 1984). Par conséquent, la complexité de la situation ainsi que le niveau d'expérience influencent le mode de traitement de l'information. Lorsque la tâche implique des processus automatiques, i.e. en situation simple et pour les expérimentés, les performances de conduite devraient donc être meilleures que lorsqu'elle implique des processus contrôlés, i.e. en situation complexe et pour les novices. Les différentes études recensées dans les précédents chapitres révèlent les effets directs de la complexité de la situation et de l'expérience sur les performances (voir Tableau 2).

Tableau 2. Facteurs déterminants des performances (approche empirique).

Facteurs	Effets sur les performances	Références
Complexité des situations : <i>Situations complexes</i>	- n.s	e.g. De Waard, 1991, Cnossen et al. (2000), Di Stasi et al. (2010)
	- Amélioration	e.g. Jessurun et al. (1993), De Waard et al. (1995), Brookhuis et al. (1991), De Waard et al. (1999), Steyvers, & De Waard (2000), Horberry et al. (2006), Dijksterhuis et al. (2011)
	- Détérioration	e.g. Jessurun et al. (1990), De Waard et al. (2001), Baldauf et al. (2009), Reimer et al. (2011), Liu & Lee (2006), Nickel & Nachreiner (2000, 2003)
<i>Situations simples</i>	- n.s	e.g. Di Stasi et al. (2012)
	- Détérioration	e.g. Ting et al. (2008), Atchley & Chan (2011)
Manque d'expérience	- n.s	e.g. Di Stasi et al. (2011)
	- Détérioration	e.g. Damm et al. (2011), Nibbeling et al. (2012), Fairclough et al. (2006), De Waard et al. (2008), Veltman & Gaillard (1996), Smith et al. (2009)

Contrairement à ce qui pouvait être attendu, les études montrent que les situations simples et très complexes ainsi que le manque d'expérience peuvent détériorer les performances, ne pas avoir d'effet dessus, ou même les améliorer (voir Tableau 2). Il existe donc des facteurs intermédiaires permettant de moduler l'effet de ces facteurs sur les performances.

1.2. Charge de travail subjective et objective

1.2.1 Effets de la situation

De nombreuses études ont observé les effets de la complexité de la situation sur les niveaux subjectif et objectif de la charge de travail, et sur les performances. Nous pouvons donc associer des niveaux subjectif et objectif de charge à des niveaux de performance, sans pour autant les considérer comme étant la cause des variations de performance (voir Tableau 3).

Tableau 3. Effets de la complexité de la situation sur les niveaux subjectif et objectif de charge de travail et sur les performances des expérimentés (approche empirique).

Charge de travail subjective	Fréquence cardiaque moyenne	Variabilité Rythme Cardiaque	Composant 0,10 Hz de la VRC	Performances	Références
Hausse				Dégradées	e.g. De Waard et al. (2010), Baldauf, Burgard, & Wittmann (2009)
				n.s	e.g. Cnossen et al. (200), Di Stasi et al. (2010)
				Améliorées	e.g. Brookhuis et al. (1991)
Baisse				Améliorées	e.g. Steyvers & De Waard (2000), Horberry et al. (2006)
				Dégradées	e.g. Jessurun et al. (1990)
n.s				n.s	e.g. De Waard (1991)
				Améliorées	e.g. Jessurun et al. (1993), De Waard et al. (1995)
	Hausse			Dégradées	e.g. Collet et al. (2009), Liu & Lee (2006), Mehler et al. (2011), Reimer et al. (2011)
		n.s			e.g. Mehler et al. (2011)
		Hausse	n.s	Dégradées	e.g. Nickel & Nachreiner (2000)
			Hausse		e.g. Nickel & Nachreiner (2003)
			Hausse		e.g. Brookhuis et al. (2008)
Hausse	Baisse	Hausse		Améliorées	e.g. Dijksterhuis et al. (2011)
					e.g. Gabaude et al. (2012)
	n.s	Hausse		Dégradées	
			n.s	Améliorées	e.g. De Waard et al. (2009)
n.s	Hausse		Baisse		

Notes : VRC = Variabilité du Rythme Cardiaque

Premièrement, concernant le lien entre la complexité de la situation et la charge de travail subjective, le terme « niveau de complexité de la situation » doit être considéré avec prudence. En effet, la littérature montre que la hausse de complexité (nombreuses informations à traiter) provoque une difficulté supplémentaire mais peut à l'inverse, dans certains cas, aider les conducteurs en servant d'indice pour le guidage de leur trajectoire (e.g., présence de marquage au sol). Les études menées sur des conducteurs expérimentés ont montré différents patterns de résultats. Généralement, seules les situations de conduite très complexes augmentaient la charge de travail subjective et dégradaient les performances, révélant ainsi une surcharge de travail. Dans les situations dont on suppose qu'elles sont évaluées comme étant moyennement complexes par les conducteurs expérimentés, ceux-ci adoptaient souvent la stratégie compensatoire de la réduction de leur vitesse, ce qui les aidait probablement à effectuer la tâche de conduite correctement. Ces résultats vont dans le sens du modèle de Meister (1976), dans lequel les situations simples et très complexes sont particulièrement propices à la surcharge. Cependant, peu d'études ont spécifiquement observé l'effet de situations simples et monotones de conduite sur la charge de travail subjective (voir Tableau 3).

Deuxièmement, si l'on considère les études sur les mesures physiologiques de la charge de travail, la plupart d'entre elles révèlent que la hausse du niveau physiologique de la charge due à la complexité de la situation était associée à des dégradations de performances. Toutefois, contrairement à nos attentes, quelques études ne montraient aucune variation du niveau physiologique de la charge, voir même une diminution de ce niveau, avec cependant des dégradations de performances (voir Tableau 3). La charge de travail ressentie pouvait donc influencer les performances et il est intéressant de prendre en compte l'ensemble des données subjectives et physiologiques afin de pouvoir conclure sur les résultats de ces travaux.

Enfin, en comparant les niveaux subjectif et physiologique de la charge de travail, la complexité de la situation augmentait en particulier le niveau subjectif mais pas le niveau physiologique qui était même parfois diminué, et améliorait fréquemment les performances (voir Tableau 3). Les conducteurs expérimentés n'étaient donc pas toujours conscients de leur état interne, souvent surévalué. Ils ressentaient probablement un effort important car ils étaient concentrés sur la tâche, d'ailleurs réalisée avec succès.

1.2.2 Effets de l'expérience de conduite

Quelques études se sont intéressées aux effets de la complexité de la situation sur les niveaux subjectif et objectif de la charge de travail et sur les performances des conducteurs novices (voir Tableau 4).

Tableau 4. Effets de la complexité de la situation sur les niveaux subjectif et objectif de charge de travail et sur les performances des conducteurs novices (approche empirique).

Charge de travail subjective	Fréquence cardiaque moyenne	Variabilité Rythme Cardiaque	Composant 0,10 Hz de la VRC	Performances	Références
Hausse	n.s		Hausse	Dégradées	e.g. De Waard et al. (2008)
	Hausse		Baisse		e.g. Veltman & Gaillard (1996)
n.s		n.s			

Concernant les conducteurs novices, la hausse de la complexité de la situation provoquait uniquement une augmentation du niveau subjectif ou du niveau physiologique de la charge de travail, avec des dégradations de performances (voir Tableau 4). Selon les études, les novices surévaluaient ou sous-évaluaient leur charge de travail objective. Lorsqu'ils la sous-évaluaient, ils n'adoptaient probablement pas de stratégie compensatoire, ce qui rendait la tâche de conduite difficile à réaliser correctement. A l'inverse, lorsqu'ils la surévaluaient, ils surévaluaient probablement leurs aptitudes (biais d'optimisme, voir McKenna, 1993), ce qui les amenait à ne pas adopter de stratégie compensatoire.

Deux études ont comparé les novices aux expérimentés, en fonction de leur charge de travail subjective et/ou objective, et de leurs performances (voir Tableau 5).

Tableau 5. Niveaux subjectif et objectif de charge de travail et performances des novices par rapport aux expérimentés (approche empirique).

Charge de travail subjective	Fréquence cardiaque moyenne	Variabilité Rythme Cardiaque	Composant 0,10 Hz de la VRC	Performances	Références
n.s					e.g. Patten et al. (2006)
	n.s		n.s	Dégradées	e.g. De Waard et al. (2008)

Comme attendu, parmi le peu d'études qui ont comparé les conducteurs novices aux expérimentés, la hausse de la complexité de la situation menait à des détériorations de performances pour les novices et les expérimentés, avec toutefois un niveau de performances



plus élevé pour les expérimentés. Cela peut s'expliquer, comme nous l'avons déjà exprimé, par le fait que les conducteurs expérimentés ont davantage automatisé les tâches de conduite, i.e. tâches de second niveau (tactique) du modèle de la hiérarchie des tâches (Michon, 1985). D'autres études analysant les niveaux subjectifs et objectifs de charge de travail en fonction de l'expérience de conduite sont nécessaires afin de préciser leurs impacts sur les performances de conduite.

1.3. Anxiété subjective et objective

1.3.1 Effets de la situation

Plusieurs études ont observé les effets de la situation avec des caractéristiques anxiogènes sur les niveaux subjectif et objectif d'anxiété et sur les performances chez des conducteurs expérimentés (voir Tableau 6).

Tableau 6. Effets de situations anxiogènes sur les niveaux subjectif et objectif d'anxiété et sur les performances des conducteurs expérimentés (approche empirique).

Anxiété subjective	Activité électrodermale moyenne	Réponse Electrodermale moyenne	Performances	Références
Hausse			Dégradées	e.g. Taylor et al. (2007), Morton, & White (2012), Rowden et al. (2011), Fairclough et al. (2006), Dula et al. (2010), Maïano et al. (2011)
Hausse				e.g. Hill & Boyle (2007)
	Hausse	n.s		e.g. Kilpatrick (1972)
	n.s	Hausse		
	Hausse puis baisse			e.g. Rose et al. (1995)
	Hausse	 Hausse		e.g. Parsons et al.(1998)
	Hausse		Améliorées	e.g. Collet et al. (2005)
Hausse		Hausse		e.g. Cottrell & Barton (2012) e.g. Schmidt-Daffy (2012)

Note :  = entraîner

De manière attendue, sur l'ensemble des études portant sur le niveau subjectif d'anxiété, ce dernier augmentait toujours avec le caractère anxiogène de la situation, et entraînait des dégradations de performances (Voir Tableau 6).

Les situations anxiogènes augmentaient l'activité électrodermale moyenne et l'apparition soudaine d'évènements potentiellement dangereux et donc anxiogènes augmentait la réponse électrodermale. De plus, le niveau élevé d'activité électrodermale pouvait diminuer dans le temps avec une habitude à la situation, mais pouvait augmenter la réponse électrodermale spécifique à un évènement. De manière réciproque, la hausse de la réponse électrodermale due à des évènements imprévus pouvait augmenter l'activité électrodermale moyenne. Cependant, à notre connaissance une seule étude a montré une amélioration des performances associée à une hausse d'activité électrodermale. Un certain niveau objectif d'anxiété serait donc nécessaire pour optimiser les performances.

Enfin, les études comparant l'évolution du niveau subjectif d'anxiété avec celle du niveau de la réponse électrodermale ont montré une congruence entre les deux, augmentant en situation anxiogène.

1.3.2 Effets de l'expérience de conduite

Peu d'études se sont intéressées aux effets de l'expérience de conduite sur les niveaux subjectif et objectif d'anxiété et sur les performances (voir Tableau 7).

Tableau 7. Effets de situations anxiogènes sur les niveaux subjectif et objectif d'anxiété et sur les performances des novices (approche empirique).

Anxiété subjective	Activité électrodermale moyenne	Réponse Electrodermale moyenne	Performances	Références
Hausse			Dégradées	e.g. Fairclough et al. (2006)
	Hausse avec la distance			e.g. Taylor (1964)

Pour les conducteurs novices, la hausse d'anxiété subjective était accompagnée par des détériorations de performances, et l'activité électrodermale était élevée mais elle diminuait au fur et à mesure de la distance parcourue. Nous pouvons faire l'hypothèse qu'avec l'expérience de conduite, le niveau physiologique d'anxiété doit diminuer.

1.4. Vigilance subjective et objective

1.4.1 Effets de la situation

La majorité des études portant sur les niveaux subjectifs et objectifs de vigilance et les performances ont testé l'impact de situations monotones prolongées (voir Tableau 8).

Tableau 8. Effets de situations monotones et prolongées sur les niveaux subjectif et objectif de vigilance et sur les performances des expérimentés (approche empirique).


Vigilance subjective	Ratio EEG (alpha + theta) / beta	Alpha et Theta	Performances	Références
Baisse			Dégradées	e.g. Ting et al. (2008)
Baisse			n.s	e.g. Di Stasi et al. (2012)
Baisse		Hausse		e.g. Connor et al. (2002), Otmani et al. (2005)
Baisse	Hausse			e.g. Oron-Gilad et al. (2008)
Baisse		Hausse	Dégradées	e.g. Filtness et al. (2012)

Les résultats montrent que l'ensemble de ces situations diminuait le niveau subjectif de vigilance, avec ou sans dégradation des performances.

En observant les données subjectives et physiologiques, nous pouvons noter que les situations monotones et prolongées faisaient à la fois diminuer la vigilance subjective, mais également la vigilance objective (hausse des indicateurs physiologiques), avec des dégradations de performances (voir Tableau 8). Ceci confirme les effets néfastes de ce type de situations sur les niveaux de vigilance et les comportements de conduite (Campagne et al., 2004).

Nous pouvons toutefois identifier les effets de situations très complexes ou demandant un effort soutenu sur le niveau objectif de vigilance et sur les performances (voir Tableau 9) et observer que ce type de situations diminue la vigilance objective (hausse des indicateurs physiologiques) et dégrade les performances (voir Tableau 9).

Tableau 9. Effets de situations très complexes ou d'effort mental soutenu sur le niveau objectif de vigilance et sur les performances des expérimentés (approche empirique).

Vigilance subjective	Ratio EEG (alpha + theta) / beta	Theta	Performances	Références
	Hausse		Dégradées	e.g. Eoh et al. (2005)
		Hausse	Dégradées	e.g. Smit et al. (2004)

Note :  = entraîner

L'ensemble des résultats présentés dans ce travail confirme le modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson (cf. Ansseau et Timsit-Bertier (1987 ; in Hadj-Mabrouk et al., 2001) d'après lequel un faible niveau de vigilance est accompagné d'un faible niveau de performance, qu'il s'agisse de tâches simples (en situation monotone) ou très complexes. Cependant, les études portant sur la vigilance restent essentiellement ciblées sur des routes monotones, afin de comprendre les nombreux accidents (49,9%) dus à la baisse de vigilance durant les sections rectilignes monotones (Van Elslande et al., 2009). A ce jour, il est donc difficile de valider empiriquement la théorie concernant les effets de situations très complexes sur la vigilance et les performances.

1.4.2 Effets de l'expérience de conduite

Une seule étude recensée a montré que, pour les novices, l'apparition d'un danger à 3h du matin entraînait une baisse de vigilance subjective et des dégradations de performances (Smith et al., 2009). D'autres études, plus nombreuses, privilégient l'effet de l'âge à celui de l'expérience sur la vigilance et les performances. Bien que l'âge et l'expérience soient deux facteurs bien souvent confondus, il est important de les dissocier afin d'estimer leur poids respectif dans la survenue des accidents dus à la baisse de vigilance.

2. Mesures subjectives et objectives

Le choix du questionnaire dépend des critères requis mais également du contexte de l'étude et des dimensions de la charge de travail, de l'anxiété et de la vigilance qui retiennent l'attention de l'expérimentateur.

Parmi les indicateurs physiologiques corrélés à la charge de travail, la fréquence cardiaque moyenne et le différentiel de fréquence cardiaque semblent être particulièrement représentatifs. Cela est confirmé par les études qui ont trouvé des résultats significatifs avec ces indicateurs, contrairement à la variabilité de la fréquence cardiaque et à son composant 0,10 Hz qui ne semblaient pas être suffisamment sensibles aux différents niveaux de complexité. L'étude de la fréquence cardiaque moyenne et du différentiel de fréquence cardiaque confirmait globalement que les situations très complexes provoquaient une augmentation de ces indicateurs physiologiques (corrélés à la charge de travail), et dégradaient les performances de conduite. L'interprétation des indicateurs physiologiques doit cependant s'effectuer avec précaution, dans la mesure où ils peuvent refléter l'effet de différents facteurs.

Les deux indicateurs d'anxiété les plus appropriés semblent être l'activité électrodermale moyenne qui reflète le niveau global d'anxiété durant une tâche et la réponse électrodermale qui apparaît spécifiquement face à un événement anxiogène. En effet, ces indicateurs varient en fonction des situations et des événements, avec une variation équivalente du niveau subjectif d'anxiété.

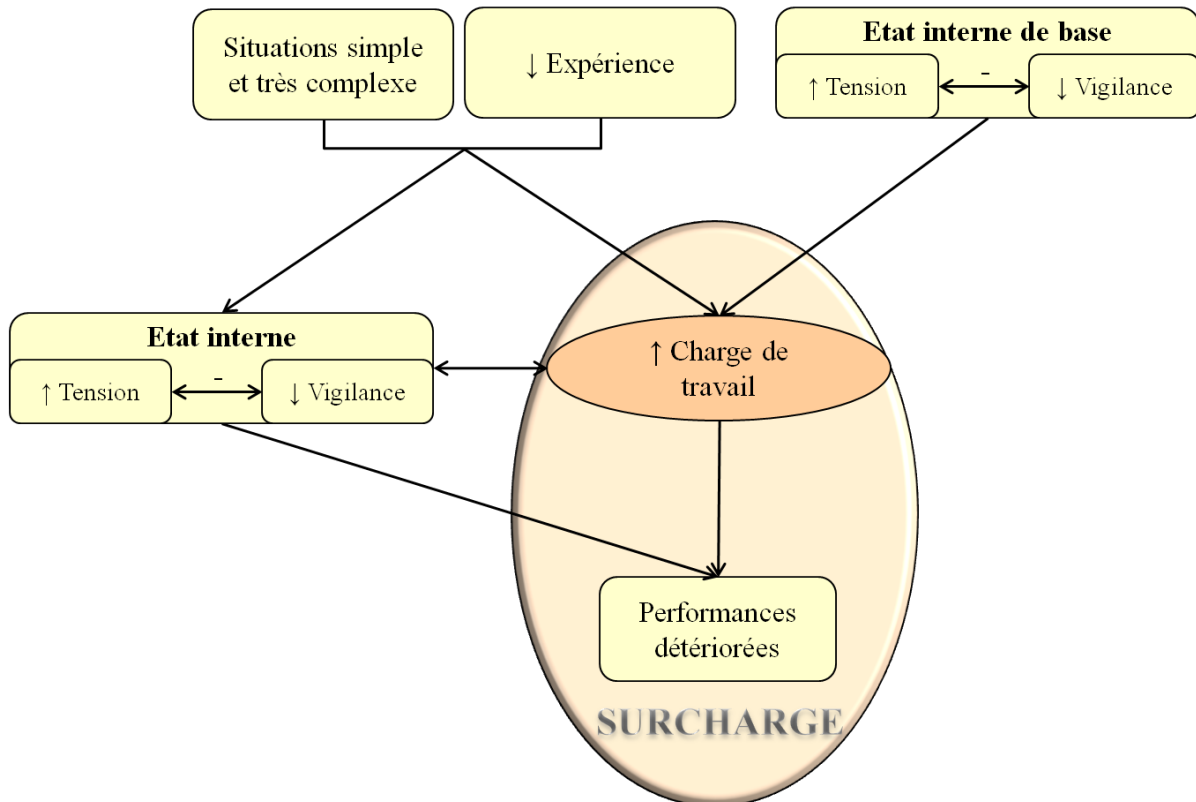
Bien que peu d'études révèlent l'impact des situations complexes sur le niveau physiologique de vigilance, le rapport « (alpha + theta) / beta » avec notamment les ondes alpha et theta, augmente lors des situations monotones lorsque la vigilance subjective diminue. Ce rapport apparaît donc être un bon indicateur du niveau de vigilance.

Par ailleurs, lorsque le choix de la mesure la plus appropriée a été effectué, qu'elle soit physiologique ou subjective, il faut également choisir la meilleure complémentarité entre les mesures physiologiques et subjectives. Ainsi, les mesures objectives physiologiques répondent à certains inconvénients caractérisant les mesures subjectives (e.g., méthode « off-line », avec des biais de rappel et de post-rationalisation). Réciproquement, les mesures subjectives répondent à d'autres inconvénients caractérisant les mesures physiologiques (e.g.,

processus d'analyse long et technique, avec une faible sélectivité de part une sensibilité élevée à de nombreux facteurs). Toutefois, il semblerait que les mesures subjective et physiologique devraient être positivement corrélées, indiquant une part de conscience de l'état interne physiologique.

3. Perspectives de recherches

L'état de la littérature permet de comprendre dans quelles mesures l'interaction entre ces différents facteurs constitue une synergie accidentogène. A partir des théories et des études énoncées, le modèle suivant pourrait ainsi rendre compte des liens entre ces facteurs accidentogènes chez les jeunes conducteurs (voir Figure 5).



Note: ↑ = hausse; ↓ = baisse; - = corrélation négative.

Figure 5. Liens entre différents facteurs accidentogènes: complexité de la situation, expérience, charge de travail, état interne et performances.

D'après le modèle d'activation de Thayer (1986), la corrélation entre les niveaux de tension et de vigilance qui composent l'état interne est respectivement positive ou négative pour une faible ou forte énergie libérée. Plusieurs théories ont démontré que cet état interne module la surcharge de travail.

En situations simples et très complexes (coûteuses en énergie), et notamment avec le manque d'expérience, un faible niveau de vigilance et un haut niveau d'anxiété (associé à la tension) provoquent des détériorations de performances de manière directe et indirecte *via* une hausse de la charge de travail. L'état interne caractérisé par un haut niveau d'activation (forte

libération d'énergie) peut donc augmenter la charge de travail jusqu'à une détérioration de performance révélant une surcharge de travail. Réciproquement, la hausse de la charge, induite par les situations simples et très complexes et liée à un manque d'expérience, peut augmenter le niveau d'activation de l'état interne en diminuant la vigilance (Smit et al., 2004 ; Brookhuis et al., 2003 ; Falzon & Sauvagnac, 2004) et en générant de l'anxiété (Wells & Matthews, 1996 ; in Fairclough et al., 2006).

Enfin, un état interne de base libérant une importante énergie (corrélation négative entre tension et vigilance) devrait favoriser la hausse de la charge de travail jusqu'à ce que cette dernière entraîne des dégradations de performances, révélant ainsi une surcharge (voir Figure 5).

Actuellement, aucune étude n'a identifié les effets combinés des facteurs présents dans ce modèle. L'identification des liens entre les facteurs susceptibles d'accroître l'implication des jeunes conducteurs dans les accidents de la route est pourtant utile afin d'envisager des actions de sensibilisation (e.g., prévention routière) et de mieux cibler les modules de formation à la conduite. L'apprentissage de la conduite pourrait, en prenant en considération le ressenti des conducteurs apprentis, intégrer une part de conscience de leur état interne physiologique ainsi que les conséquences, sur le comportement de conduite, de la complexité des situations et leurs répercussions sur des événements imprévus et dangereux. Dès l'obtention du permis de conduire, les novices pourraient ainsi mieux adapter leurs stratégies de conduite en fonction de la complexité de la situation et de leur état, en ayant été informés de leurs capacités à effectuer la tâche de conduite avec une certaine conscience d'un ensemble de paramètres utiles à sa réalisation.

Deux expérimentations ont donc été menées afin de valider ce modèle de manière empirique. Une première expérimentation portait sur l'influence de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite sur les niveaux subjectifs de charge de travail, de tension, de vigilance et sur les performances. Les liens entre ces facteurs ont été observés en absence vs. en présence d'événements imprévus et dangereux. Une deuxième expérimentation étudiait l'effet de variables identiques et portait sur des données subjectives et physiologiques de la charge, de la tension et de la vigilance.

CHAPITRE 5 : Expérimentation 1 : données subjectives

1. Objectifs de l'expérimentation 1

Cette première expérimentation étudiait les effets de la complexité de la situation de conduite et du niveau d'expérience sur la charge de travail subjective des conducteurs et leurs performances. Ainsi, un niveau élevé de charge de travail ressentie devrait se manifester lorsque la situation de conduite devient trop complexe pour réaliser correctement la tâche de conduite, et ceci plus précocement pour les conducteurs ayant le moins d'expérience. Les effets modulateurs des niveaux subjectifs de tension et de vigilance devraient également s'observer.

2. Méthodologie

2.1. Participants

57 conducteurs (33 hommes et 24 femmes) étaient répartis en quatre groupes en fonction de leur expérience de conduite. Deux groupes étaient composés de conducteurs novices ayant obtenu leur permis de conduire depuis moins de deux mois : 15 novices âgés de 18 à 20 ans ($M = 19$, $SD = 0.84$) ayant suivi un Apprentissage Traditionnel à la conduite (AT) avec un minimum de 20h de cours de conduite, et 12 novices âgés de 18 ans ($M = 18$, $SD = 0$) ayant suivi un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC), avec un minimum de 3 000 kms de pratique de conduite supplémentaire sous la surveillance d'un adulte ayant le permis B. Les deux autres groupes comprenaient des conducteurs plus expérimentés, avec 15 conducteurs âgés de 21 ans ($M = 21$, $SD = 0$) arrivant à plus ou moins 3 mois de la Fin des trois ans du Permis Probatoire (FinPB), et 15 Expérimentés âgés de 23 à 30 ans ($M = 26.87$, $SD = 2.97$) avec une expérience minimum de cinq ans. Le recrutement des participants s'est effectué en démarchant les auto-écoles, lycées, universités, IUT et villes aux alentours de Salon-de-Provence (Cf. affiches et prospectus Annexe 1, p 388-389), ainsi qu'en posant des prospectus sur les véhicules de jeunes conducteurs. Seuls les participants en bonne santé avec une vue normale ou corrigée, n'étant pas sensibles au mal des transports et répondant aux critères d'inclusion (voir Annexe 2, p 390) ont été sélectionnés. Tous ont signé une fiche d'information et un formulaire de consentement libre et éclairé avant leur participation (voir

Annexes 3 et 4, p 391-392). Le protocole expérimental a été approuvé par le Comité d’Ethique et de Recherche (CERB) de l’IFSTTAR (voir Annexe 5, p 393-394).

2.2. Matériel

2.2.1. *Simulateur de conduite*

L'expérimentation s'est déroulée sur le simulateur de conduite à base fixe de Salon-de-Provence (voir Figure 6), équipé d'une architecture parallèle multi-acteurs pour la simulation du trafic (ArchiSim) et d'une base de données provenant du logiciel SIM²-IFSTTAR (Espié, Gauriat & Duraz, 2005). L'architecture « ArchiSim » s'appuyait sur le modèle de simulation de trafic DR2 (gestion des véhicules « autonomes » et « asservis » dont le comportement est défini par des scripts pour chaque scénario, simulation générée par des capteurs de trafic ponctuels et spatiaux) et sur la boucle de visualisation 3D SIM2. Le poste de conduite interactif était constitué d'un quart de véhicule comprenant un siège, un tableau de bord et des commandes équipées de capteurs, i.e. pédalier et volant.



Figure 6. Simulateur de conduite.

Les différents mouvements et actions exercés sur le véhicule étaient reproduits virtuellement. Les valeurs d'accélération, de freinage et de direction du simulateur étaient celles d'un véhicule moyen. Les capteurs installés sur le simulateur enregistraient ces valeurs en temps réel. Le simulateur avait une boîte automatique et n'était pas équipé de rétroviseurs. La surface de projection des images (résolution de 30 Hz), située sur trois écrans placés devant le simulateur à 1.93 m de l'œil du conducteur, avaient un angle d'ouverture de 150°

horizontalement et de 40° verticalement. Chaque écran avait une résolution de 1280 x 1024 pixels. Un son en quadriphonie diffusé dans le simulateur était composé de bruits internes au véhicule (moteur, roulement et démarreur) et de bruits externes (trafic).

2.2.2. Situations de conduite

Trois routes nationales s'étendant chacune sur 22,5 kms respectaient une largeur de 3,50 m qui correspondait à la standardisation internationale des routes principales prenant en compte les marges latérales de sécurité en fonction des vitesses pratiquées (Vertet & Giausserand, 2006). Ainsi, pour une vitesse limitée à 90 km/h, chaque situation était parcourue en environ 15 min. Ces situations de conduite variaient en fonction de leur complexité. D'après la taxonomie des éléments de l'environnement caractérisant la complexité d'une situation de conduite (Fastenmeier, 1995), deux éléments ont été pris en compte pour faire varier la complexité, i.e. le design de la route (droite vs. avec virages) et la densité du trafic (sans vs. avec). La situation simple était une route nationale rectiligne à deux voies et à double sens de circulation, sans trafic. Le marquage central était une ligne blanche continue. La situation moyennement complexe incluait 5 virages à droite et 5 à gauche (longueur : 600 m, rayon : 300 m) (voir Figure 7).

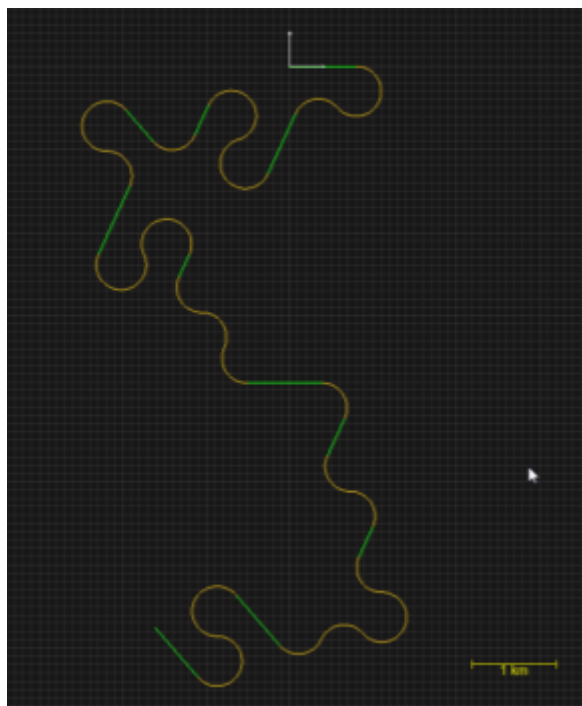


Figure 7. Représentation graphique de l'ensemble de la situation moyennement complexe.

La situation très complexe comportait le double de virages, plus serrés (longueur : 300 m, rayon : 120 m), et du trafic arrivant en sens inverse (voir Figure 8).

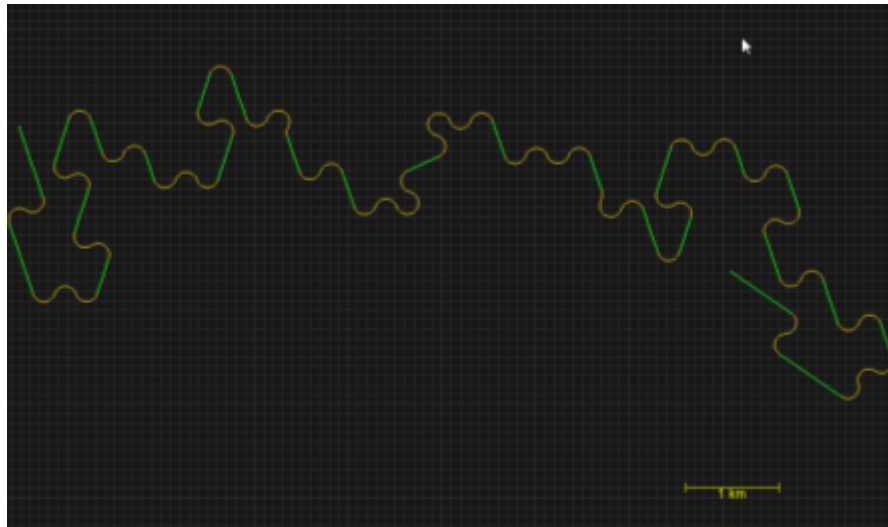


Figure 8. Représentation graphique de l'ensemble de la situation très complexe.

Le trafic était constitué d'une boucle de 13 véhicules roulant à 90 km/h régénérée tous les 5 kms de telle sorte que les participants perçoivent un enchaînement constant de véhicules. La distance inter-véhiculaire variait (voir Figure 9).

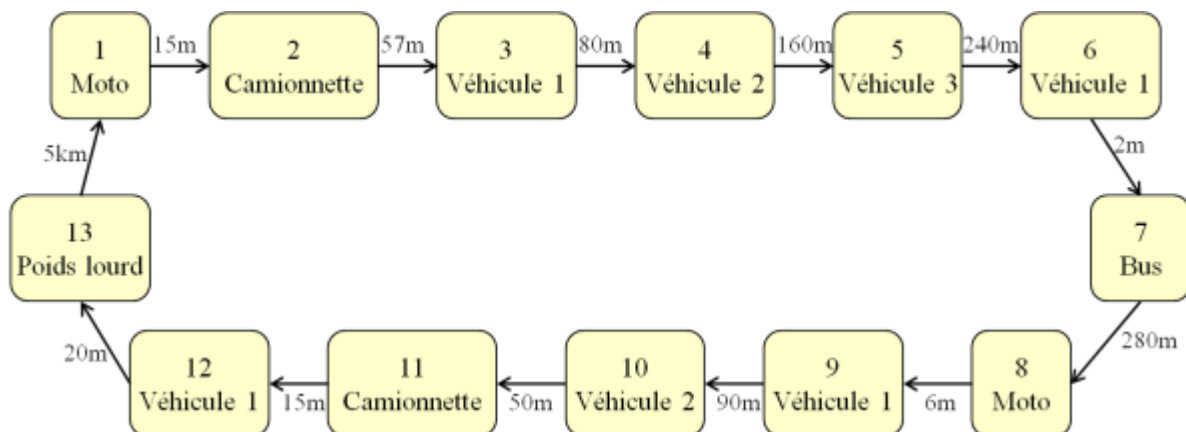


Figure 9. Schéma des distances inter-véhiculaire par ordre d'apparition des véhicules.

Quelle que soit la situation, trois scénarios impliquant un piéton étaient inclus. Les piétons étaient aléatoirement cachés par un panneau d'affichage, un arrêt de bus ou un arbre disposés à droite de la chaussée. Dans chaque situation, les panneaux d'affichage et les arbres étaient présentés à gauche ou à droite de la chaussée de manière non symétrique, et les abris bus

étaient positionnés quasiment de manière symétrique à gauche et à droite de la chaussée. Afin de renforcer l'effet de surprise lié à l'apparition des piétons, dans chaque situation, chaque cache (panneau, arbre et abris bus) apparaissait trois fois sans qu'un piéton n'apparaisse et une fois avec une apparition d'un piéton. Cette apparition des piétons s'effectuait à différents endroits (Points Kilométriques ou PK) d'une situation à l'autre, et ce de manière aléatoire (voir Tableau 10).

Tableau 10. Présence des piétons derrière les caches en couleur à différents Points Kilométriques (PK en mm) en fonction de chaque situation.

Simple		Moyennement complexe		Très complexe	
Caches	PK	Caches	PK	Caches	PK
Arbre (droite)	2200	Abris bus	5000	Panneau (droite)	1500
Panneau (gauche)	4800	Arbre (gauche)	9000	Abris bus	2000
Abris bus	15600	Panneau (droite)	20500	Arbre (gauche)	3500
Arbre (gauche)	29800	Abris bus (droite)	30000	Panneau (gauche)	5000
Abris bus	32100	Abris bus	45000	Abris bus	8000
Panneau (droite)	39000	Panneau (gauche)	51000	Abris bus	10500
Panneau (droite)	45000	Abris bus	59000	Panneau (gauche)	14000
Arbre (gauche)	61000	Panneau (gauche)	65000	Panneau (droite)	15000
Abris bus	61278	Arbre (droite)	66085	Arbre (droite)	22500
Panneau (droite)	63855	Abris bus	66957	Abris bus	29300
Abris bus	65100	Panneau (droite)	69252	Arbre (gauche)	51200
Panneau (gauche)	65176	Abris bus	70054	Panneau (droite)	72600
Arbre (droite)	65679	Arbre (gauche)	70587	Panneau (gauche)	77500
Arbre (gauche)	66581	Panneau (gauche)	71508	Abris bus	79900
Abris bus	68000	Arbre (droite)	72000	Arbre (droite)	80000
Abris bus	72340	Abris bus	73130	Abris bus	92000
Panneau (droite)	75000	Panneau (droite)	80000	Abris bus (droite)	95500
Arbre (droite)	80000	Panneau (gauche)	89000	Arbre (droite)	102500
Panneau (gauche)	88000	Arbre (gauche)	93200	Arbre (gauche)	147000
Panneau (gauche)	102000	Arbre (droite)	98500	Panneau (gauche)	163000
Abris bus (droite)	150000	Arbre (droite)	99000	Arbre (gauche)	178000
Abris bus	161530	Abris bus	100900	Abris bus	188400
Arbre (droite)	180000	Panneau (droite)	162000	Arbre (droite)	190000
Arbre (gauche)	201000	Arbre (gauche)	190000	Panneau (droite)	200000

A partir de leur création dans le scénario de conduite, les piétons traversaient la route environ 2.7 secondes avant l'arrivée du participant à leur niveau. Ce temps était calculé de telle sorte que, dès que le piéton apparaissait dans le champ visuel des conducteurs, ces derniers pouvaient freiner à temps pour éviter le piéton. Ce temps était décomposé en temps

de décélération, de mise en œuvre du freinage et de réponse, avec l'application d'une valeur de décélération de -8 m/s^2 . Ainsi, pour une vitesse maximale autorisée de 90 km/h, le temps de décélération jusqu'à l'arrêt (0 km/h) était de 3.12 secondes. Le temps de mise en œuvre du freinage (temps entre l'appui sur la pédale de frein et temps de blocage des roues) était de 0.2 sec. Enfin, le temps de réponse correspondant au moment où le participant perçoit le stimulus et le temps où il appuie sur la pédale de frein était de 0.8 sec. En considérant le fait que le piéton était créé 1 m (1,25 sec.) avant son apparition dans le champ visuel, le temps total entre l'apparition du stimulus (piéton) et l'arrêt du véhicule était de 2.67 sec. sur 66,75 mètres. Chaque piéton était positionné à un cap de 90° par rapport au véhicule du participant et le déplacement du piéton consistait en un mouvement de translation rectiligne uniforme en marchant à une vitesse constante de 5 km/h (vitesse moyenne de marche d'un adulte, voir Seiniger, Bartels, Pastor, & Wisch, 2013) (voir Figure 10).

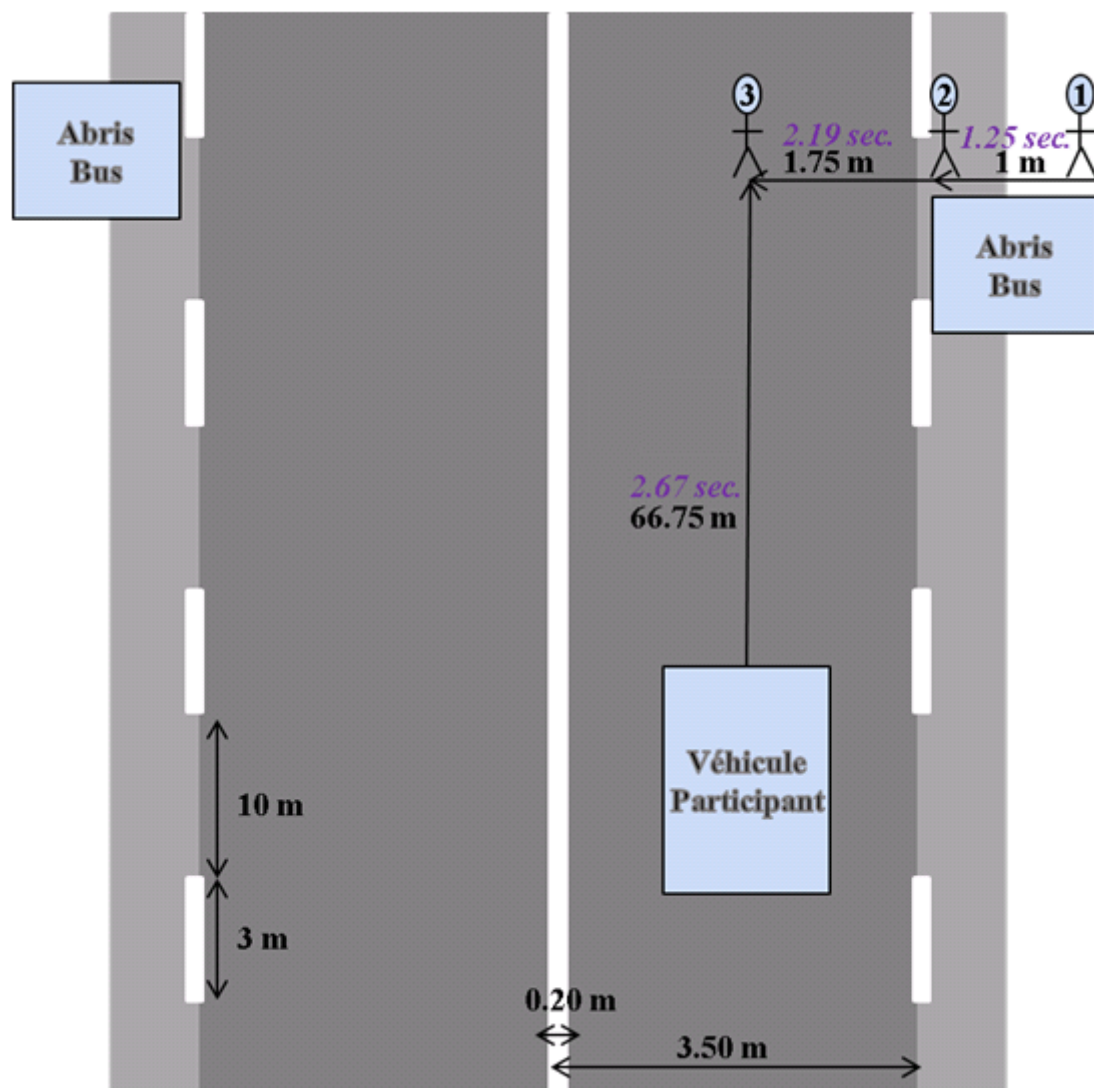


Figure 10. Configuration de la route nationale et de l'apparition des piétons (exemple de l'abri bus).

2.2.3. Mesures subjectives

La charge de travail était auto-évaluée par le questionnaire NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988). Ce dernier comprenait 6 dimensions : Exigences mentales, Exigences physiques, Exigences temporelles, Performance, Effort et Frustration. Pour chaque dimension, les participants estimaient leur charge de travail durant la dernière situation sur une échelle en 20 points allant de 0 = « très faible » à 20 = « très élevé ». Pour la dimension Performance, l'échelle allait de 0 = « réussite » à 20 = « échec ». Le questionnaire était adapté aux situations expérimentales (Cf. Annexe 6, p 395-409). Ainsi, pour chaque sous-échelle, la même question était dupliquée plusieurs fois afin d'identifier le niveau de charge de travail attribué aux portions sans piétons (durant les lignes droites, les virages et le trafic) et aux portions avec piétons.

L'échelle « Activation Deactivation Adjective Check List » de Thayer (1986) évaluait les niveaux subjectifs de tension et de vigilance avant et après chaque situation (cf. Annexe 7, p 410-411). L'échelle « Activation Deactivation Adjective Check List » était composée de 20 adjectifs. Pour chacun d'entre eux, une échelle en 4 points indiquait leur état, i.e. « je me sens très », « je me sens un peu », « je ne sais pas », et « je ne me sens pas du tout ». Les adjectifs étaient répartis en 4 dimensions : 1/ Activation Générale (GA) : actif, énergique, dynamique, la pêche, en forme, 2/ Désactivation Générale (GD) : indifférent, calme, détendu, tranquille, silencieux, 3/ Activation élevée (HA) : mal à l'aise, inquiet, énervé, tendu, crispé, et 4/ Désactivation Sommeil (DS) : endormi, fatigué, attentif, somnolent, éveillé. La tension subjective correspondait à la dimension High Activation (HA) et la vigilance subjective était calculée à partir du rapport entre les dimensions General Activation et Deactivation Sleep (GA/DS).

2.2.4. Mesures objectives de performance

Un découpage a été effectué afin d'identifier les performances de conduite inhérentes aux portions sans piétons, et celles inhérentes aux portions avec piétons (voir Figure 11).

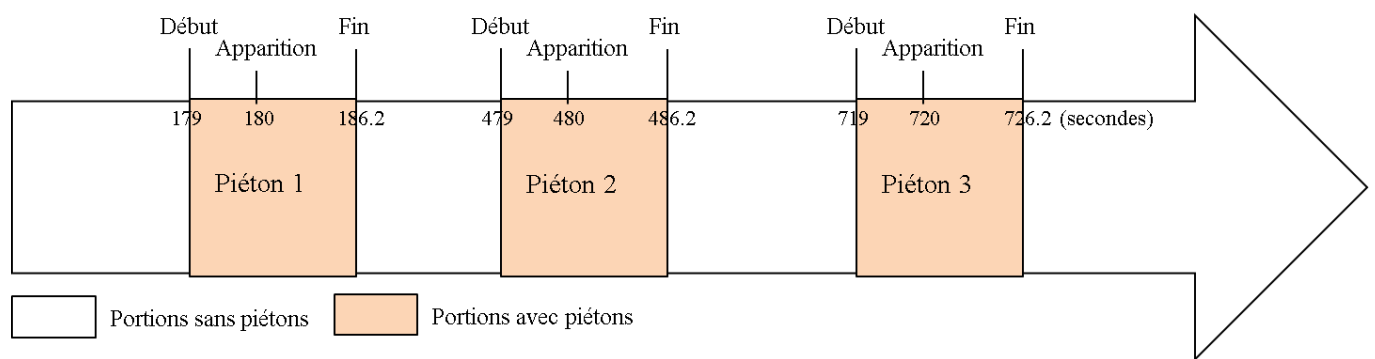


Figure 11. Exemple de découpage des portions avec vs. sans piétons.

Durant les portions sans piétons, le comportement objectif de conduite était analysé par les Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP), ainsi que par les écart-types de vitesse. Les stratégies compensatoires étaient également étudiées avec la Position Latérale moyenne (en mm) et la vitesse moyenne (en km/h).

Durant les portions avec piétons, pour l'ensemble des situations et des groupes de participants, une ANOVA à un facteur a révélé un effet significatif de l'ordre d'apparition des piétons sur le nombre de collisions avec les piétons ($F(2, 510) = 11.43, p < .001$). Ainsi, l'analyse post-hoc de Bonferroni montrait que le nombre de collisions était significativement plus élevé pour le premier piéton ($M = 0.35, SD = 0.48$) que pour le deuxième ($M = 0.23, SD = 0.42$) et le troisième ($M = 0.13, SD = 0.34$). Ceci était probablement dû à un effet de surprise lors de l'apparition du premier piéton. Par conséquent, afin de minimiser l'effet de surprise du 1^{er} piéton et de principalement observer l'effet du contexte de la situation sur le comportement de conduite face aux piétons, seuls les 2^e et 3^e piétons ont été pris en compte dans les analyses. Le comportement objectif de conduite était analysé par les stratégies pour éviter les piétons (freinage, écart, combinaison du freinage et de l'écart, et anticipation), les Temps de Réaction (TR en secondes) de la première action réalisée après les apparitions des 2^e et 3^e piétons dans le champ visuel du conducteur, et le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons. La première action pouvait être le relâchement de la pédale d'accélération, l'appui sur la pédale de frein, ou l'écart du véhicule du participant vers la droite ou la gauche du piéton. Pour chaque situation, l'écart face aux piétons était noté lorsque la Position Latérale (PL) du conducteur augmentait de plus ou moins la moyenne des Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP) enregistrées sur les lignes droites. Les collisions avec les piétons n'avaient pas d'impact négatif sur les participants qui passaient à travers l'image sans aucun changement visuel.

2.3. Procédure

Avant l'expérience, les participants étaient entraînés sur un circuit (voir Figure 12) impliquant de conduire en ligne droite, de tourner à gauche et à droite et de s'arrêter. Ils se familiarisaient ainsi avec les commandes du simulateur en fonction de différentes tâches qu'ils avaient à réaliser ensuite durant les situations expérimentales. Leur entraînement s'arrêtait lorsqu'ils le jugeaient suffisant pour se sentir à l'aise avec la conduite sur le simulateur (environ 5min).



Figure 12. Circuit de familiarisation avec le simulateur de conduite.

Les trois situations étaient ensuite présentées dans un ordre contrebalancé, avec la même consigne, i.e. « vous allez être sur une Route Nationale limitée à 90 km/h. Conduisez en respectant les règles du code de la route, comme en conduite réelle ». Le questionnaire NASA-TLX était complété à la fin de chacune des trois situations de conduite afin de recueillir le niveau subjective de la charge de travail induite. L'échelle de Thayer était complétée avant et après chaque situation afin d'obtenir les niveaux subjectifs de tension et de vigilance (voir Figure 13). La totalité de l'expérimentation durait environ 1h30.

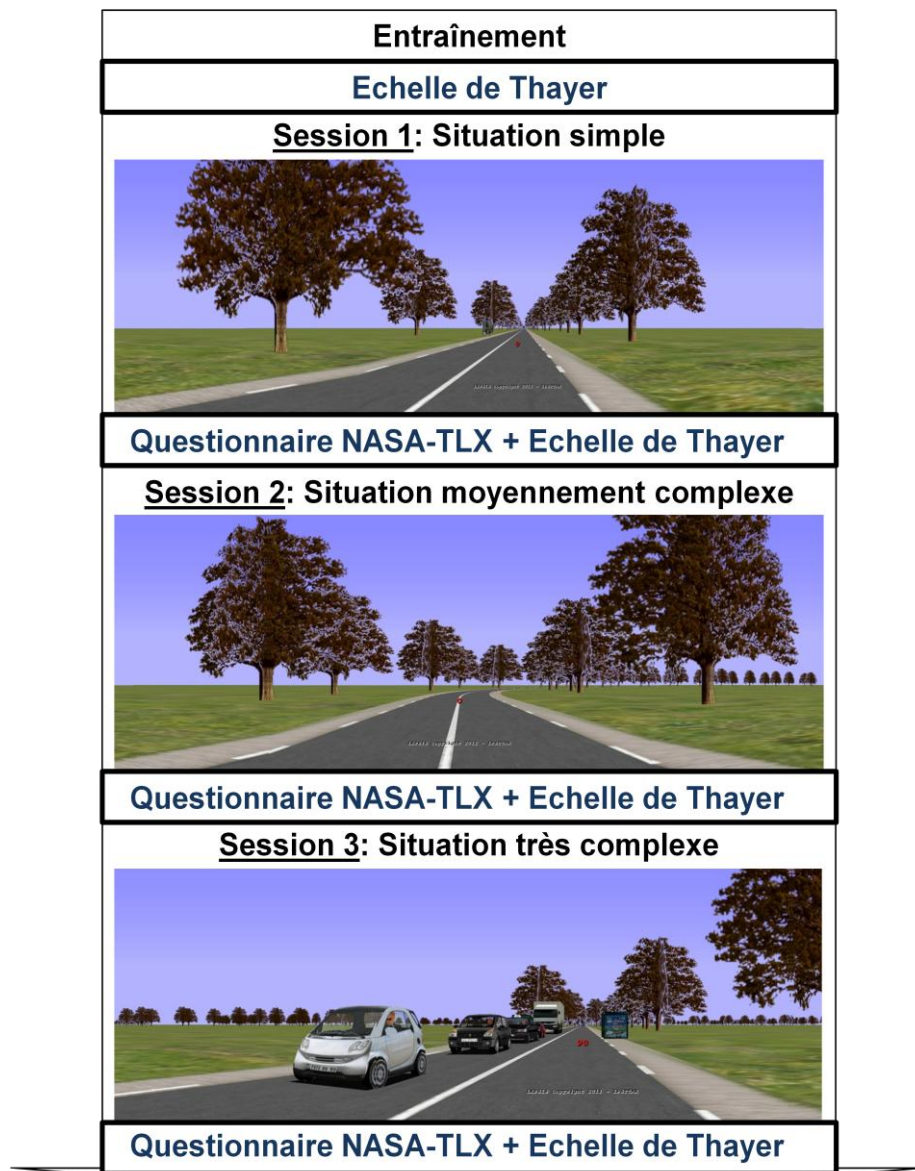


Figure 13. Procédure de l'expérimentation 1.

2.4. Analyses statistiques

La première minute de chaque situation était considérée comme une familiarisation à la tâche et aucune donnée n'était enregistrée. Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées en fonction des portions sans vs. avec piétons. La fiabilité des questionnaires ainsi que les effets d'ordre étaient préalablement vérifiés.

Pour les portions sans piétons ainsi que pour celles avec piétons, l'ensemble des effets indirects possibles a été testé avec le test de Sobel. La significativité statistique de l'ensemble des analyses était fixée à $p < .05$. Ensuite, des régressions polynomiales de second ordre (pas à pas descendantes) ont été réalisées sur des données standardisées afin d'observer les effets linéaires et non linéaires. Les analyses post-hoc étaient ensuite réalisées avec des t de Student pour groupes indépendants pour des comparaisons par paires, et avec des régressions linéaires simples pour l'effet d'une variable sur une autre dans chaque condition.

2.4.1 *Portions sans piétons*

La première analyse testait le plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite : AT vs. AAC vs. FinPB vs. Expérimentés) \times 3 (Situation : Simple vs. Moyennement complexe vs. Très complexe) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation). La variable dépendante était la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons.

La seconde analyse suivait le plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons). La variable dépendante était la tension subjective après chaque situation.

La troisième analyse portait sur la vigilance subjective après chaque situation comme variable dépendante et suivait un plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite) \times 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons).

Les quatre dernières analyses suivaient le plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation). Les variables dépendantes étaient respectivement la vitesse moyenne, l'écart-type de la vitesse, la Position Latérale moyenne, et la Déviation Standard de la Position Latérale (SDLP).

Afin d'identifier le seuil de surcharge à la fois en fonction de l'expérience et de la situation, des analyses complémentaires ont été menées. Ainsi, des régressions simples ont testé l'effet de la charge de travail subjective sur l'écart-type de la vitesse et sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation.

2.4.2 Portions avec piétons

La première analyse était un plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite : AT vs. AAC vs. FinPB vs. Expérimentés) \times 3 (Situation : Simple vs. Moyennement complexe vs. Très complexe) \times 4 (Stratégies: freinage vs. écart vs. Combinaison du freinage et de l'écart vs. anticipation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation). La variable dépendante était la charge de travail subjective attribuée aux piétons.

La seconde analyse suivait un plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation). La variable dépendante était les stratégies (freinage, écart, combinaison du freinage et de l'écart, et anticipation).

La troisième analyse était basée sur un plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation). La variable dépendante était les Temps de Réaction (TR) avec les 2^e et 3^e piétons.

La dernière analyse était basée sur un plan expérimental partiellement croisé 4 (Expérience de conduite) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension

subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation) \times 4 (Stratégies) \times 1 (TR). La variable dépendante était le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons.

Afin d'identifier le seuil de surcharge en fonction de l'expérience et de la situation, des analyses complémentaires ont été menées. Ainsi, des régressions simples de l'effet de la charge de travail subjective sur les TR et le nombre de collisions ont été réalisées pour chaque groupe dans chaque situation.

2.4.3 Niveau interne d'activation avant et après chaque situation

Le niveau d'activation était analysé par des corrélations (r de Bravais Pearson) entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance pour chaque groupe (AT, AAC, FinPB et Expérimentés), dans les deux conditions avant et après chaque situation.

3. Résultats

3.1. Fiabilité des questionnaires et effets d'ordre

Fiabilité des questionnaires

Tout d'abord, l'alpha de Cronbach a révélé que le questionnaire NASA-TLX était homogène (alpha standardisé = .87), ainsi que les items de chacune des 4 dimensions de l'échelle de Thayer (HA: alpha standardisé = .93; GA: alpha standardisé = .95; GD: alpha standardisé = .69; DS: alpha standardisé = .83). Ensuite, les coefficients r de Bravais et Pearson ont montré que la charge de travail subjective (variable latente) était significativement corrélée avec chacune des six dimensions qui la composaient, rendant le questionnaire NASA-TLX fiable (Exigences Mentales : $r = .87$, $p < .001$, Exigences Physiques : $r = .90$, $p < .001$, Exigences Temporelles : $r = .86$, $p < .001$, Performance : $r = .72$, $p < .001$, Effort : $r = .81$, $p < .001$, Frustration : $r = .55$, $p < .001$). Les items de l'échelle de Thayer étaient également significativement corrélés aux 4 dimensions de l'échelle, révélant ainsi sa fiabilité (voir Tableau 11).

Tableau 11. Corrélations r de Bravais-Pearson entre les dimensions de l'échelle de Thayer et leurs items.

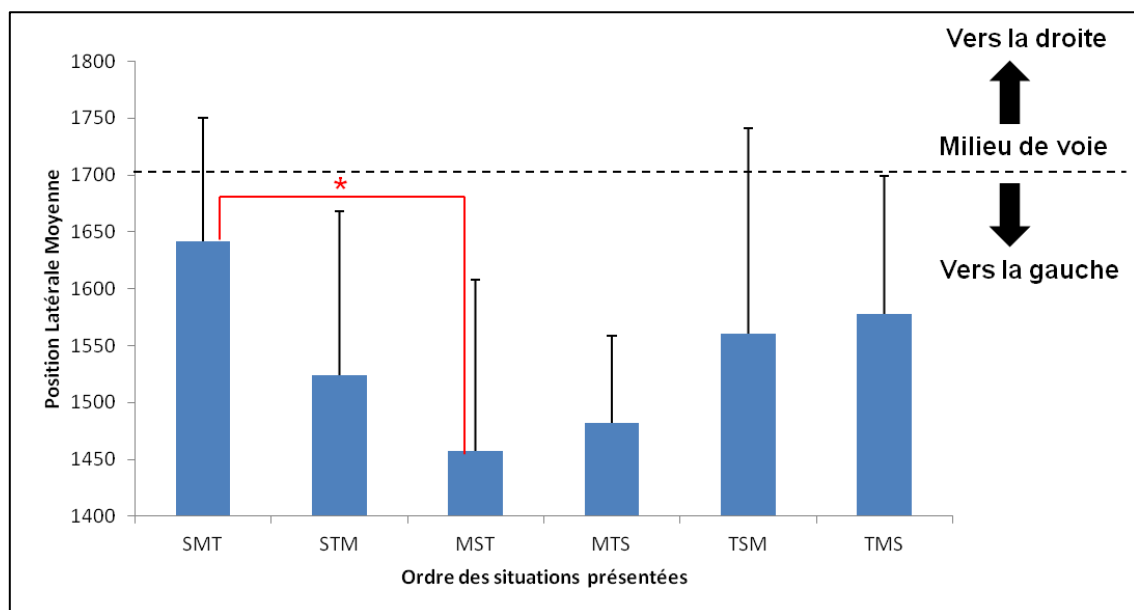
	Activation Elevée	Activation Générale	Désactivation Générale	Désactivation Sommeil
Mal à l'aise	.88 **			
Inquiet	.87 **			
Enervé	.86 **			
Tendu	.90 **			
Crispé	.90 **			
Actif		.88 **		
Energique		.94 **		
Dynamique		.94 **		
La pêche		.93 **		
En forme		.86 **		
Indifférent			.37 *	
Calme			.78 **	
Détendu			.70 **	
Tranquille			.81 **	
Silencieux			.65 **	
Endormi				.84 **
Fatigué				.83 **
Attentif				.65 **
Somnolent				.80 **
Eveillé				.73 **

Note : * $p < .01$; ** $p < .001$

Effets d'ordre

Concernant les effets d'ordre, une ANOVA a démontré que quelle que soit l'expérience de conduite et la situation, il n'y avait pas d'effet d'ordre de présentation des situations sur la charge de travail subjective attribuée aux piétons ($F(5, 33) = .28, n.s$) et aux autres portions ($F(5, 33) = .41, n.s$), ni sur la tension subjective avant ($F(5, 33) = .53, n.s$) et après chaque situation ($F(5, 33) = .38, n.s$), ni sur la vigilance subjective avant ($F(5, 33) = 1.64, n.s$) et après chaque situation ($F(5, 33) = 1.26, n.s$), ni sur les performances de conduite durant les portions sans piétons (vitesse moyenne: $F(5, 33) = 1.65, n.s$; écart-type de vitesse: $F(5, 33) = .37, n.s$; SDLP : $F(5, 33) = 2.12, n.s$) et durant les portions avec piétons (stratégies : $F(5, 33) = 1.72, n.s$; TR : $F(5, 33) = .56, n.s$; nombre de collisions : $F(5, 33) = 1.46, n.s$).

Un effet d'ordre a été observé sur la Position Latérale moyenne des portions sans piétons ($F(5, 33) = 2.60, p < .05$), avec une position plus à gauche lorsque l'ordre des situations était moyennement complexe, simple, puis très complexe ($M = 1457.18, SD = 150.84$) plutôt que lorsque l'ordre était simple, moyennement complexe, puis très complexe ($M = 1641.95, SD = 107.92$) (voir Figure 14).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$; S = Simple ; M = Moyennement complexe ; T = Très complexe

Figure 14. Position Latérale moyenne en fonction de l'ordre de présentation des situations.

Les analyses de régressions polynomiales ont été privilégiées par la suite dans la mesure où l'absence générale d'effet d'ordre sur les différentes variables montre qu'il n'y a pas d'effet d'apprentissage au cours des trois passations de circuits pour un même participant. Il n'est donc pas strictement nécessaire de prendre en compte les mesures répétées.

3.2. Portions sans piétons

3.2.1. Charge de travail subjective globale attribuée aux portions sans piétons

L'ensemble des prédicteurs de la charge de travail subjective était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la charge, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 15).

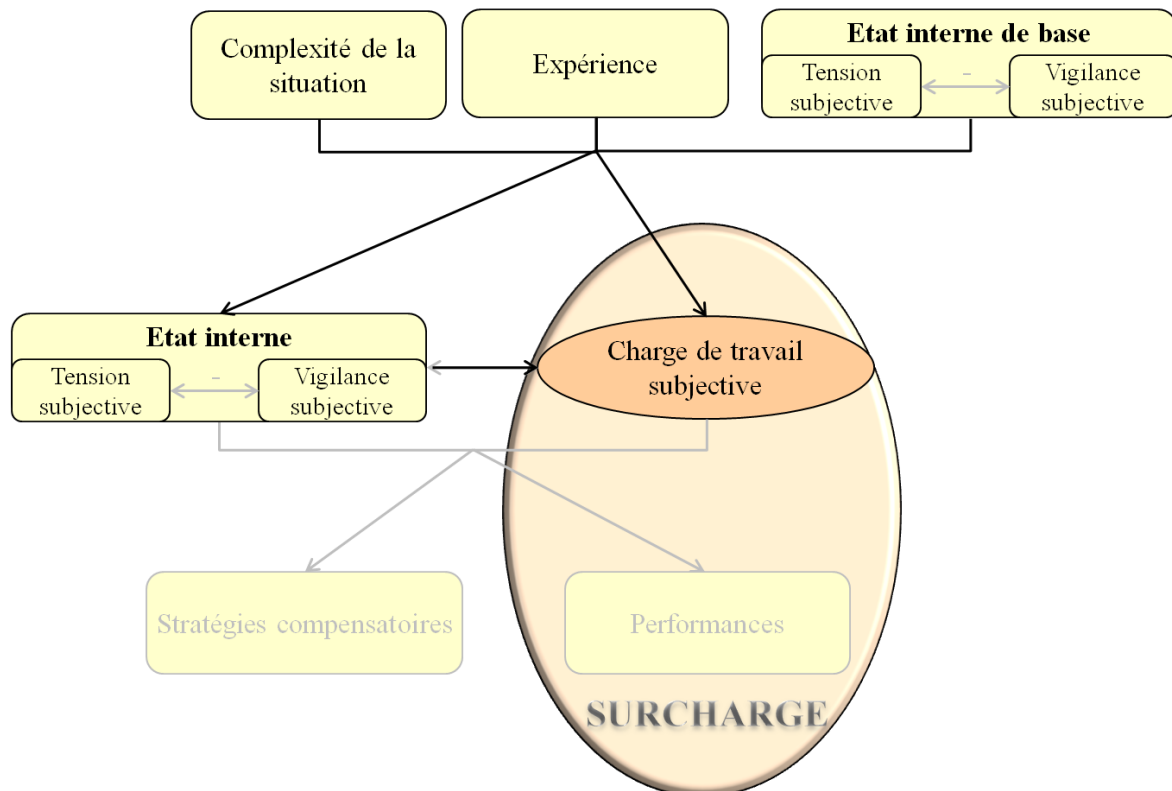


Figure 15. Prédicteurs de la charge de travail subjective.

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel a montré que la tension subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet d'interaction Tension \times Vigilance subjectives avant chaque situation sur la charge de travail subjective ($z = -2.44, p < .05$). L'interaction avait un effet significatif sur la tension subjective après chaque situation ($\beta = -.28, p < .001$). Une tension subjective élevée avant chaque situation entraînait une tension élevée après chaque situation ($\beta = .74, p < .001$) tandis qu'une vigilance subjective élevée avant chaque situation entraînait une tension subjective faible après chaque situation ($\beta = -.20, p < .01$). A son tour, une tension subjective élevée après chaque situation entraînait une charge de travail subjective élevée ($\beta = .25, p < .01$).

De plus, la vigilance subjective après chaque situation était également médiatrice de l'effet de la tension subjective avant chaque situation sur la charge de travail subjective ($z = 2.11, p < .05$). Une tension élevée avant chaque situation entraînait un niveau de vigilance subjective faible après chaque situation ($\beta = -.19, p < .05$), qui à son tour augmentait la charge de travail subjective ($\beta = -.28, p < .001$).

Aucun effet significatif des facteurs pris en compte dans cette étude n'était observé sur la charge de travail subjective *via* la tension subjective après chaque situation, ni *via* la vigilance subjective après chaque situation (voir Tableau 12).

Tableau 12. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective *via* les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Vigilance subjective après
Expérience (Exp)	1.59	-.90
Situation (Sit)	1.16	-1.81
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.63	.92
Tension subjective avant (TSav)	1.26	2.11 *
Interaction Exp * Sit	.18	-1.76
Interaction Exp * TSav	.65	-.57
Interaction Exp * VSav	.71	.71
Interaction Sit * TSav	.88	-.69
Interaction Sit * VSav	.60	.87
Interaction TSav * VSav	-2.44 *	1.60

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Pour les scores moyens de charge de travail subjective, la régression polynomiale de second ordre 4 (Expérience) \times 1 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation) était ainsi réalisée. Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 26.63% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 13).

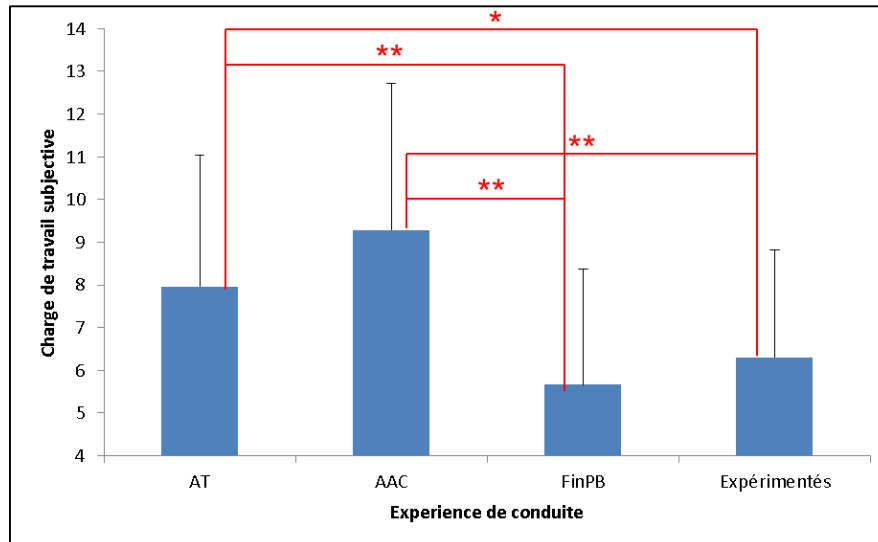
Tableau 13. Prédicteurs de charge, tension et vigilance.

Variables Indépendantes	Variables dépendantes	Charge de travail subjective		Tension subjective après		Vigilance subjective après	
		β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Expérience (Exp)		-.27 **	-.31	-.01	.05		
Situation (Sit)		.34 **	-.09				
Tension subjective avant (TSav)				.57 **	-.18	-.28	.32
Vigilance subjective avant (VSav)		-.18	-.37	-.04	.02	.46 **	.15 *
Tension subjective après (TSap)		.17	.69				
Vigilance subjective après (VSap)		-.33 **	.07				
Interaction Exp * Sit		.01	.26	.11	-.06	.18 *	.17
Interaction Exp * TSav		-.11	.30	-.03	.13 *	.07	-.04
Interaction Exp * VSav		.06	.13	.00	-.04	-.00	-.22
Interaction Exp * TSap		-.02	-.36				
Interaction Exp * VSap		.07	.08				
Interaction Sit * TSav		.06	.01	.18 **	.23	-.03	.01
Interaction Sit * VSav		.01	.03	.03	-.04	-.04	-.10
Interaction Sit * TSap		-.01	-.31				
Interaction Sit * VSap		-.10	-.19				
Interaction TSav * VSav				-.02	.16 *	-.12	-.33
Interaction TSav * TSap		-.22	-.37				
Interaction VSav * VSap		.23	-.03				
Interaction TSap * VSap		.26	.06				
Charge de travail subjective (CTS)				.12	-.01	-.14 *	.09
Interaction Exp * CTS				-.04	.06	.04	-.00
Interaction Sit * CTS				.05	.02	.05	-.09
Interaction TSav * CTS				.11	-.23	.07	.11
Interaction VSav * CTS				-.01	-.03	-.02	-.33

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

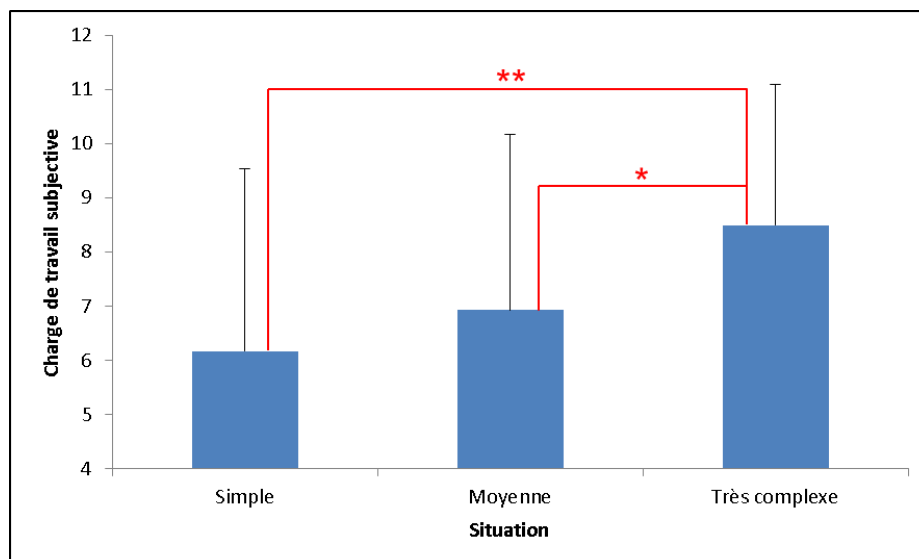
L'expérience de conduite diminuait significativement la charge de travail subjective (effet linéaire : $\beta = -.27, p < .001$). Les novices AT ($M = 7.96, SD = 3.09$) et AAC ($M = 9.29, SD = 3.42$) avaient des scores plus élevés que les FinPB ($M = 5.67, SD = 2.71$) et que les expérimentés ($M = 6.30, SD = 2.51$) (voir Figure 16).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 16. Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite.

A l'inverse, la complexité de la situation augmentait significativement la charge de travail subjective (effet linéaire : $\beta = .34, p < .001$). Les scores étaient plus élevés en situation très complexe ($M = 8.50, SD = 2.59$) qu'en situations simple ($M = 6.17, SD = 3.35$) et moyennement complexe ($M = 6.92, SD = 3.24$) (voir Figure 17).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 17. Charge de travail subjective en fonction de la situation de conduite.

Enfin, la hausse de vigilance subjective après chaque situation diminuait significativement la charge de travail subjective (effet linéaire : $\beta = -.33$, $p < .001$).

Résumé

CHARGE DE TRAVAIL SUBJECTIVE (CTS)	
Facteurs entraînant une hausse de CTS	Facteurs entraînant une baisse de CTS
↑ Tension subjective avant => ↑ Tension subjective après	
↓ Vigilance subjective avant => ↑ Tension subjective après	
↑ Tension subjective avant => ↓ Vigilance subjective après	
CTS des novices AT et AAC > CTS des FinPB et Expérimentés	
CTS en situation très complexe > CTS en situations simple et moyennement complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la charge de travail durant les portions sans piétons, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la tension subjective après chaque situation ont été réalisées.

3.2.2. Tension subjective après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs de la tension subjective après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la tension, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 18).

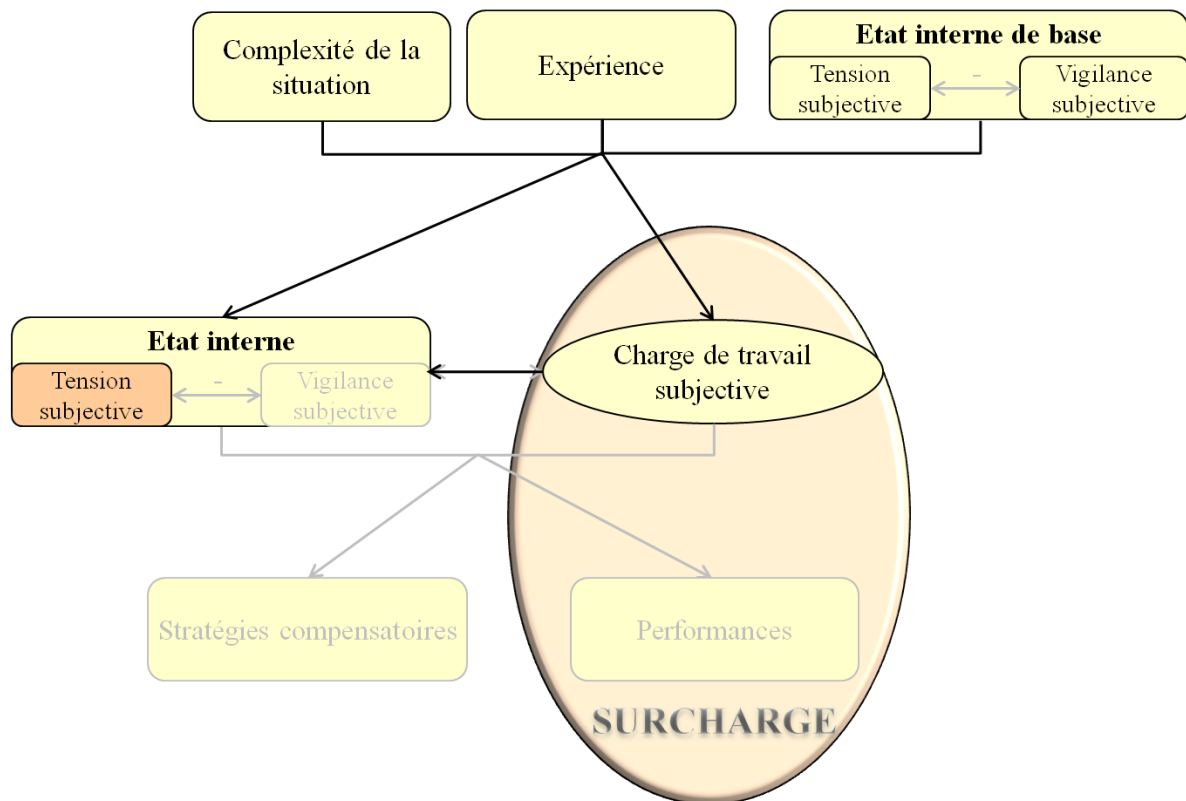


Figure 18. Prédicteurs de la tension subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel a révélé que la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons était médiatrice de l'effet de la situation sur la tension subjective ($z = 2.09, p < .05$). Plus la situation était complexe et plus la charge de travail subjective augmentaient ($\beta = .30, p < .001$). En effet, les scores étaient plus élevés en situation très complexe ($M = 8.50, SD = 2.59$) qu'en situations simple ($M = 6.17, SD = 3.35$) et moyennement complexe ($M = 6.92, SD = 3.24$). A son tour, un niveau élevé de charge de travail subjective augmentait la tension subjective après chaque situation ($\beta = .21, p < .01$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective (voir Tableau 14).

Tableau 14. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Charge de travail subjective
Expérience (Exp)	-1.88
Situation (Sit)	2.09 *
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.84
Tension subjective avant (TSav)	1.36
Interaction Exp * Sit	-.15
Interaction Exp * TSav	-1.20
Interaction Exp * VSav	1.00
Interaction Sit * TSav	.95
Interaction Sit * VSav	.47

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

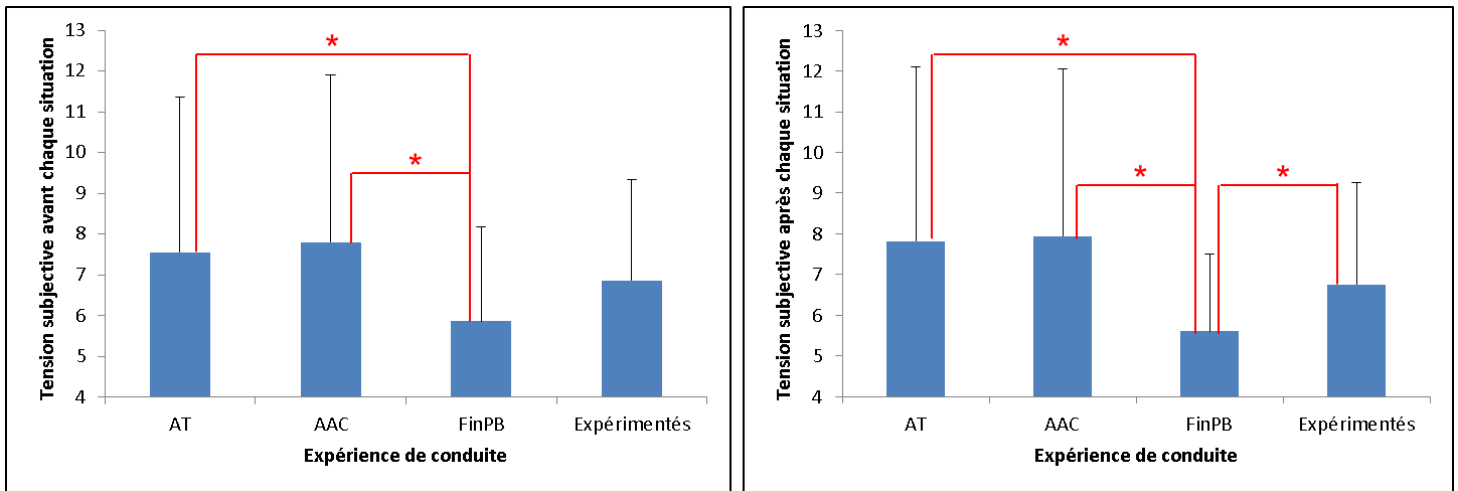
L'analyse de régression menée auprès des prédicteurs directs 4 (Expérience) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective) était effectuée. Les prédicteurs expliquaient 58.89% de la variance de la tension subjective après chaque situation (voir Tableau 13).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait significativement la tension subjective après chaque situation (effet linéaire : $\beta = .57, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .13, p < .05$). Les scores de tension subjective après chaque situation étaient plus faibles pour les FinPB ($M = 5.60, SD = 1.90$) que pour les AT ($M = 7.82, SD = 4.28$), AAC ($M = 9.94, SD = 4.11$) et les Expérimentés ($M = 6.76, SD = 2.50$). Cependant, les scores de tension avant chaque situation étaient uniquement plus faible pour les FinPB ($M = 8.87, SD = 2.46$) que pour les AT ($M = 7.56, SD = 3.82$) et AAC ($M = 7.81, SD = 4.11$) (voir Figure 19).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 19. Tension subjective avant (à gauche) et après (à droite) chaque situation en fonction de l'expérience de conduite.

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .18, p < .001$). Les analyses post-hoc ont révélé que la hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait la tension subjective après chaque situation, et ceci était davantage observé avec la complexité de la situation (en simple : $\beta = .59, p < .001$; en moyennement complexe : $\beta = .83, p < .001$; et en très complexe : $\beta = .80, p < .001$) (voir Figure 20).

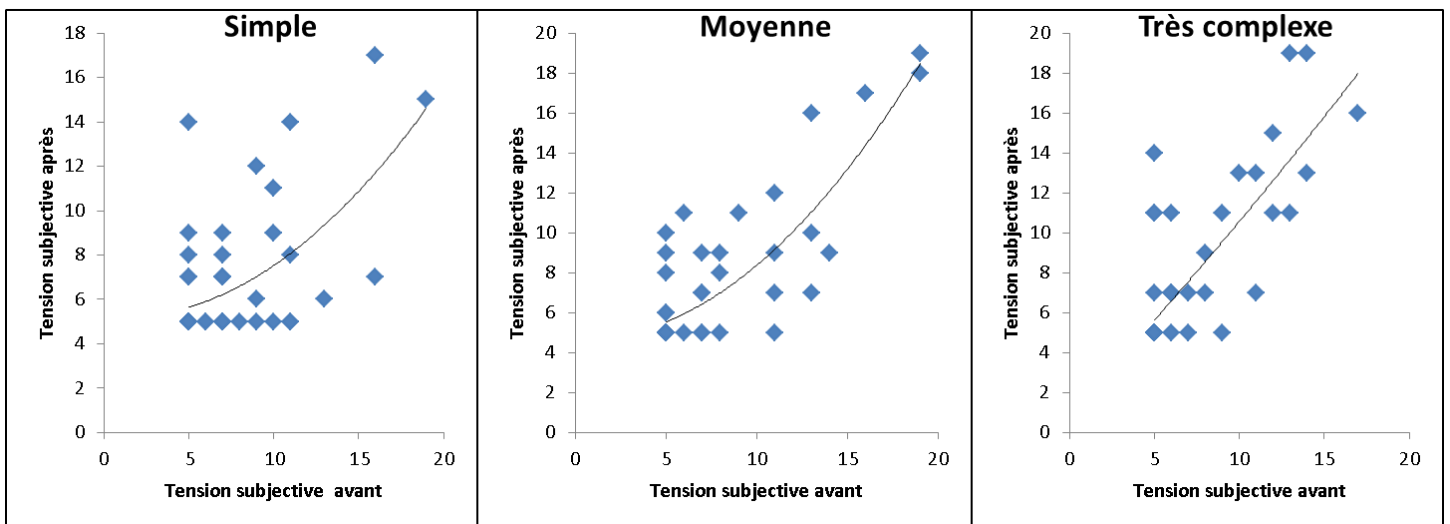


Figure 20. Effet de la tension subjective avant chaque situation sur la tension subjective après chaque situation dans chaque situation de conduite.

Dernièrement, l'interaction Tension subjective avant \times Vigilance subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .16, p < .05$), la tension subjective avant

augmentant la tension subjective après ($\beta = .62, p < .001$) et la vigilance subjective avant n'ayant aucun effet significatif ($\beta = -.06, n.s.$).

Résumé

TENSION SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (TSap)	
Facteurs entraînant une hausse de TSap	Facteurs entraînant une baisse de TSap
<i>En situation très complexe</i>	
↑ Charge de travail subjective	
↑ Tension subjective avant	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la tension subjective après chaque situation, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la vigilance subjective après chaque situation ont été réalisées.

3.2.2. Vigilance subjective après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la vigilance, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 21).

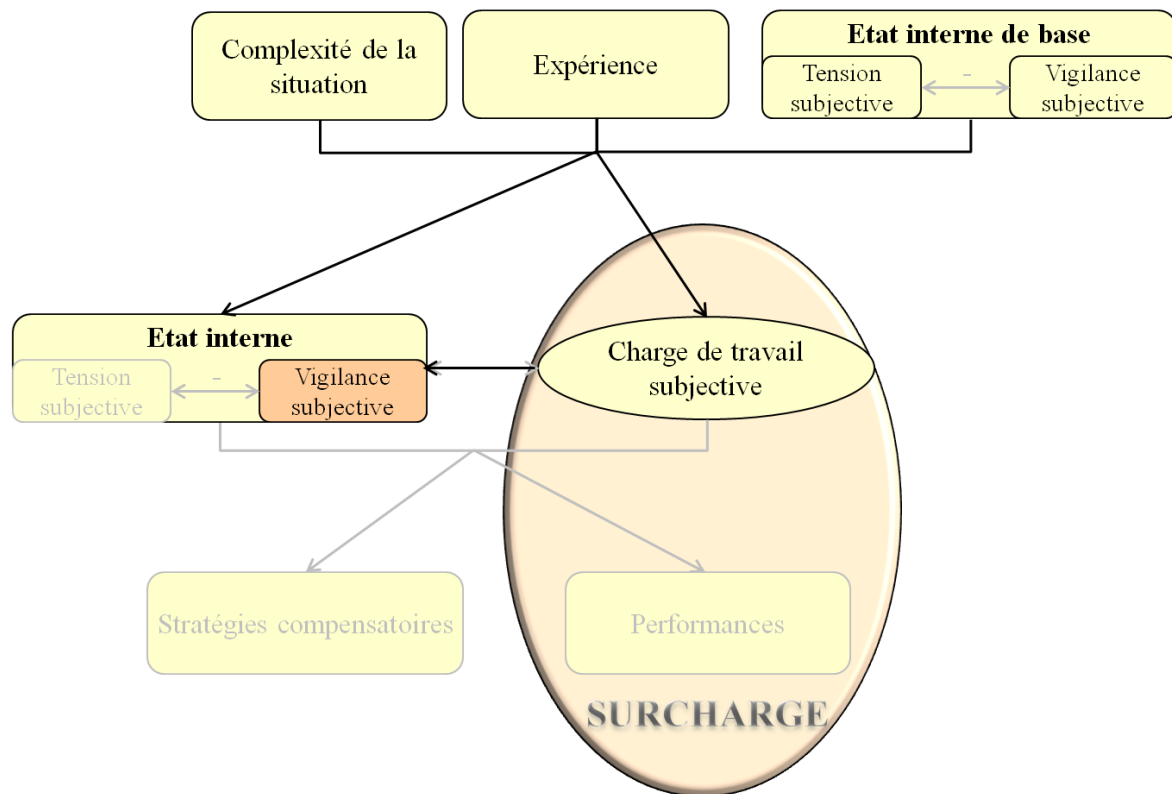


Figure 21. Prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

L'expérience de conduite ainsi que la situation avaient un effet indirect sur la vigilance subjective après chaque situation, *via* la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons (respectivement $z = 2.80, p < .01$ et $z = -3.14, p < .01$).

Plus l'expérience augmentait et plus la charge de travail subjective diminuait ($\beta = -.29, p < .001$), faisant à son tour augmenter la vigilance subjective ($\beta = -.30, p < .001$).

A l'inverse, plus la situation se complexifiait et plus la charge de travail subjective augmentait ($\beta = .30, p < .001$), faisant à son tour diminuer la vigilance subjective ($\beta = -.30, p < .001$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet sur la vigilance subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective (voir Tableau 15).

Tableau 15. Scores z des effets indirects sur la vigilance subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective
Expérience (Exp)	2.80 *
Situation (Sit)	-3.14 *
Vigilance subjective avant (VSav)	1.88
Tension subjective avant (TSav)	-1.70
Interaction Exp * Sit	.15
Interaction Exp * TSav	1.32
Interaction Exp * VSav	-1.05
Interaction Sit * TSav	-.99
Interaction Sit * VSav	-.48

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

L'analyse de régression polynomiale 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Charge de travail subjective) révélait que l'ensemble des prédicteurs directs expliquaient 39.51% de la variance de la vigilance subjective après chaque situation (voir Tableau 13).

➤ Effets simples principaux significatifs

L'augmentation de la vigilance subjective avant chaque situation faisait significativement augmenter la vigilance subjective après chaque situation (effet linéaire : $\beta = .46$, $p < .001$; effet non linéaire : $\beta = .15$, $p < .05$).

A l'inverse, l'augmentation de la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons faisait significativement diminuer la vigilance subjective après chaque situation ($\beta = -.14$, $p < .05$).

➤ Effets d'interaction significatifs

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet significatif sur la vigilance subjective après chaque situation ($\beta = .18$, $p < .01$). Les AT, AAC et FinPB n'avaient pas de différence de scores entre les trois situations tandis que les Expérimentés avaient des scores plus élevés en situation très complexe par rapport aux situations simple et moyennement complexe (voir Tableau 16).

Tableau 16. Vigilance subjective après chaque situation pour chaque groupe.

Situations	AT <i>M (SD)</i>	AAC <i>M (SD)</i>	FinPB <i>M (SD)</i>	Expérimentés <i>M (SD)</i>
Simple	1.43 (1.01)	1.02 (.67)	1.42 (.89)	1.02 (.46)
Moyenne	1.27 (.88)	.98 (.60)	1.87 (1.31)	1.16 (.76)
Très complexe	1.32 (.89)	1.16 (.80)	1.93 (1.15)	1.77 (.86)

Résumé

VIGILANCE SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (VSap)	
Facteurs entraînant une hausse de VSap	Facteurs entraînant une baisse de VSap
↑ Expérience de conduite => ↓ Charge de travail subjective	↑ Charge de travail subjective
↓ Complexité de la situation => ↓ Charge de travail subjective	
↑ Vigilance subjective avant	
<i>Pour les Expérimentés :</i> VSap en situation très complexe > VSap en situations simple et moyennement complexe	

Note : ↑ = *Hausse* ; ↓ = *Baisse*

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la tension subjective après chaque situation, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la vigilance subjective après chaque situation ont été réalisées.

3.2.4. Stratégies compensatoires : vitesse moyenne (en km/h)

L'ensemble des prédicteurs de la vitesse moyenne était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la vitesse moyenne, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 22).

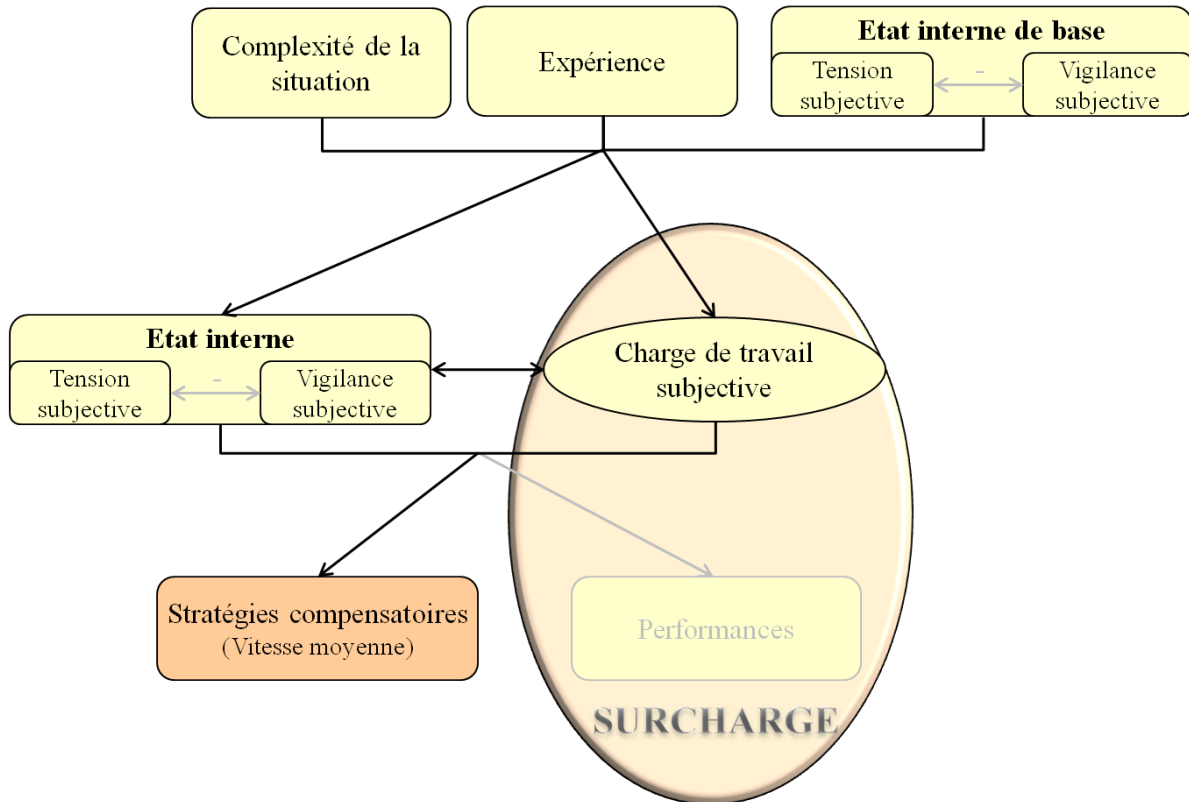


Figure 22. Prédicteurs de la vitesse moyenne.

Test de Sobel : effets indirects

La charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons était médiatrice de l'effet de la vigilance subjective avant ($z = 2.45, p < .05$) chaque situation sur la vitesse moyenne. Plus la vigilance subjective avant chaque situation diminuait et plus la charge de travail subjective augmentait ($\beta = -.29, p < .001$), faisant à son tour diminuer la vitesse moyenne ($\beta = -.19, p < .05$).

La charge de travail subjective était également médiatrice de l'effet de la vigilance subjective après chaque situation sur la vitesse moyenne ($z = 2.54, p < .05$). Plus la vigilance subjective après chaque situation diminuait et plus la charge de travail subjective augmentait ($\beta = -.28, p < .001$), faisant à son tour diminuer la vitesse moyenne ($\beta = -.19, p < .05$). Aucun

autre effet significatif des facteurs étudiés n'était observé *via* la charge de travail subjective (voir Tableau 17).

Par ailleurs, la vigilance subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet de la charge de travail subjective sur la vitesse moyenne ($z = 2.28, p < .05$). Plus la charge de travail subjective augmentait et plus la vigilance subjective après chaque situation diminuait ($\beta = -.30, p < .001$), faisant à son tour augmenter la vitesse moyenne ($\beta = -.25, p < .01$). Aucun autre effet significatif des facteurs étudiés n'était observé *via* la vigilance subjective après chaque situation.

Aucun effet significatif des facteurs étudiés n'était observé sur la vitesse moyenne *via* la tension subjective après chaque situation (voir Tableau 17).

Tableau 17. Scores z des effets indirects sur la vitesse moyenne *via* la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Vigilance subjective après	Via Tension subjective après
Expérience (Exp)	1.58	-.85	.73
Situation (Sit)	-1.17	-1.04	-.72
Vigilance subjective avant (VSav)	2.45 *	-1.15	1.38
Tension subjective avant (TSav)	-1.50	1.55	-1.33
Vigilance subjective après (VSap)	2.54 *		
Tension subjective après (TSap)	-1.75		
Charge de travail subjective (CTS)		2.28 *	-.76
Interaction Exp * Sit	.15	-1.33	-.18
Interaction Exp * TSav	1.20	-.55	.73
Interaction Exp * VSav	-.99	-.40	-.64
Interaction Exp * TSap	.97		
Interaction Exp * VSap	-1.70		
Interaction Exp * CTS		-1.54	.88
Interaction Sit * TSav	-.95	.80	-1.11
Interaction Sit * VSav	-.47	-1.16	.49
Interaction Sit * TSap	-.75		
Interaction Sit * VSap	-.52		
Interaction Sit * CTS		-.51	-.70
Interaction TSav * VSav	-.87	1.23	1.03
Interaction TSap * VSap	-1.21		
Interaction TSav * CTS		-.91	-1.45
Interaction VSav * CTS		.97	-.64

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Dans le modèle de régression polynomiale analysé 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après), les prédicteurs expliquaient 26% de la variance de la vitesse moyenne durant les lignes droites et les virages sans piétons (voir Tableau 18).

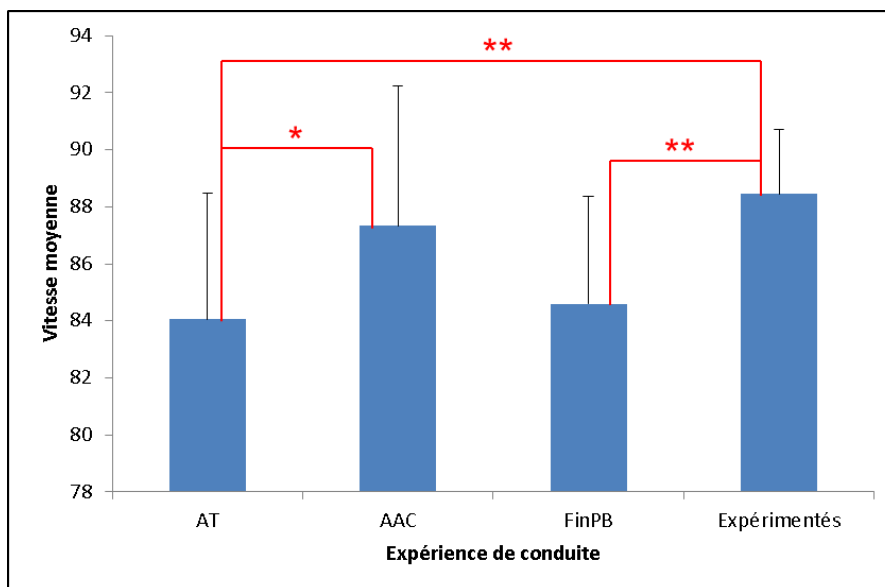
Tableau 18. Prédicteurs de vitesse (moyenne et écart-type).

Variables indépendantes \ Variables dépendantes	Vitesse moyenne		Vitesse écart-type	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Expérience (Exp)	.21 *	.23	-.20 *	-.29 **
Situation (Sit)	-.33 **	.06	-.15 *	-.01
Tension subjective avant (TSav)	-.11	.57	.17	-.06
Vigilance subjective avant (VSav)			-.09	.11
Tension subjective après (TSap)	.08	-.27	.28 *	-.54 *
Vigilance subjective après (VSap)	-.17 *	.17	.24	-.28 *
Interaction Exp * Sit	.02	-.14	.00	.10
Interaction Exp * TSav	.09	-.47	.03	.19
Interaction Exp * VSav	-.03	.16 *	.15	-.21
Interaction Exp * TSap	.01	-.27 **	.03	.36 *
Interaction Exp * VSap	.03	.00	.12	.02
Interaction Sit * TSav	-.02	-.22	.28	.05
Interaction Sit * VSav	.06	-.03	.02	-.03
Interaction Sit * TSap	-.08	.16	-.15	.01
Interaction Sit * VSap	.03	.00	-.06	.03
Interaction TSav * VSav	.19	-.21	.21 *	.08
Interaction TSav * TSap	.14	.16	-.40	.22
Interaction VSav * VSap	-.13	-.07	.28 *	-.26
Interaction TSap * VSap	-.15	-.03	.15	.21
Charge de travail subjective (CTS)	.04	.05	-.09	.11
Interaction Exp * CTS	.04	-.05	.15	-.07
Interaction Sit * CTS	.18	-.02	-.05	-.03
Interaction TSav * CTS	.21 *	.17	-.09	-.04
Interaction VSav * CTS	-.05	.05	.00	-.07
Interaction TSap * CTS	.00	-.08	.03	-.04
Interaction VSap * CTS	.02	.08	.13	.15

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ Effets simples principaux significatifs

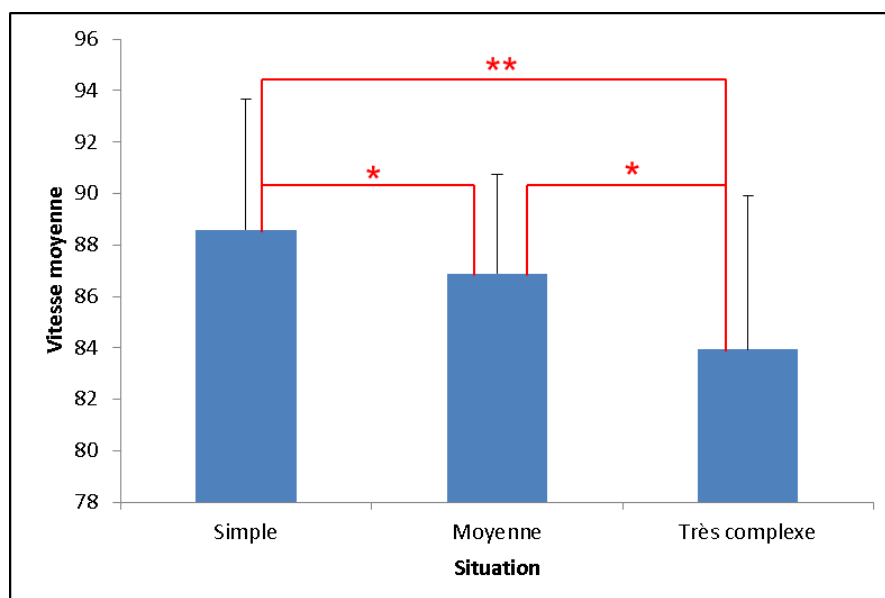
La vitesse moyenne augmentait significativement avec l'expérience de conduite ($\beta = .21$, $p < .01$), avec des scores plus faibles pour les AT ($M = 84.50$, $SD = 5.17$) que pour les AAC ($M = 87.72$, $SD = 6.91$) et les Expérimentés ($M = 88.79$, $SD = 3.13$), et également des scores plus faibles pour les FinPB ($M = 85.11$, $SD = 4.96$) que pour les Expérimentés (voir Figure 23).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 23. Vitesse moyenne (en km/h) en fonction de l'expérience de conduite.

La hausse de la complexité de la situation faisait significativement diminuer la vitesse moyenne ($\beta = -.33, p < .001$), avec des scores plus élevés en situation simple ($M = 88.58, SD = 5.10$) qu'en situations moyennement ($M = 86.88, SD = 3.87$) et très complexes ($M = 83.94, SD = 5.98$), et des scores plus élevés en situation moyennement complexe qu'en très complexe (voir Figure 24).



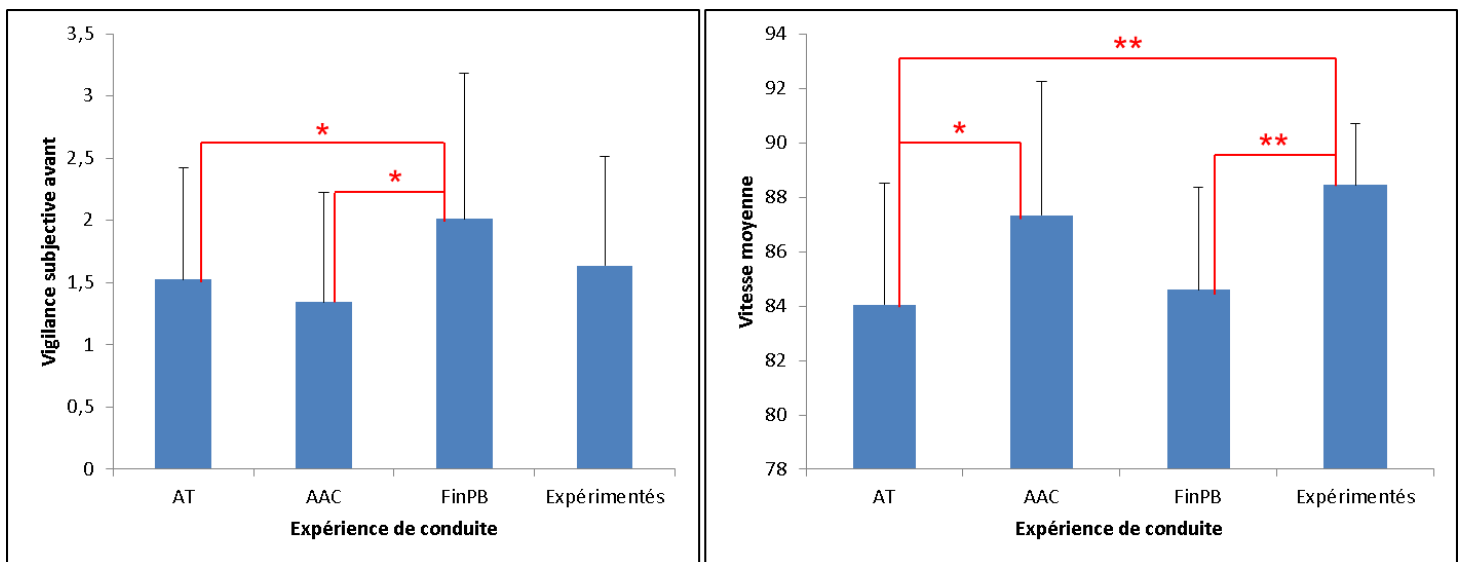
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 24. Vitesse moyenne (en km/h) en fonction de la situation de conduite.

Enfin, plus la vigilance subjective après chaque situation augmentait et plus la vitesse moyenne diminuait ($\beta = -.17, p < .05$).

➤ *Effets d'interaction significatifs*

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant chaque situation avait un effet significatif non linéaire sur la vitesse moyenne ($\beta = .16, p < .05$). Les AT ($M = 1.52, SD = .90$) et les AAC ($M = 1.34, SD = .88$) avaient un niveau de vigilance subjective avant chaque situation plus faible que les FinPB ($M = 2.01, SD = 1.17$), tandis que la vitesse moyenne ne variait pas entre ces groupes, mais était plus faible pour les AT que pour les AAC et les Expérimentés, et également plus faible pour les FinPB que pour les Expérimentés (voir Figure 25).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 25. Vigilance subjective avant chaque situation (à gauche) et Vitesse moyenne (en km/h) (à droite) en fonction de l'expérience de conduite.

L'interaction Expérience \times Tension subjective après chaque situation avait un effet non linéaire significatif sur la vitesse moyenne ($\beta = -.27, p < .001$). Pour les AT ($\beta = -.46, p < .01$) et les Expérimentés ($\beta = -.32, p < .05$), la hausse de la tension subjective faisait diminuer la vitesse moyenne, tandis qu'aucun effet n'était observé pour les AAC ($\beta = .24, n.s$) et les FinPB ($\beta = -.03, n.s$).

L'interaction Tension subjective avant chaque situation \times Charge de travail subjective influençait significativement la vitesse moyenne ($\beta = .21, p < .01$), qui diminuait avec la

hausse de la charge de travail subjective ($\beta = -.19, p < .05$) mais ne variait pas en fonction de la tension subjective ($\beta = -.14, n.s$).

Résumé

VITESSE MOYENNE (Vit_moy)	
Facteurs entraînant une hausse de Vit_moy	Facteurs entraînant une baisse de Vit_moy
↑ Charge de travail subjective => ↓ Vigilance subjective après	↓ Vigilance subjective avant => ↑ Charge de travail subjective
	↓ Vigilance subjective après => ↑ Charge de travail subjective
	<i>Pour les AT et Expérimentés :</i> ↑ Tension subjective après
Vit_moy des AAC et Expérimentés > Vit_moy des AT	
Vit_moy des Expérimentés > Vit_moy des FinPB	
Vit_moy en Simple > Vit_moy en Moyenne > Vit_moy en Très complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la vitesse moyenne (en km/h), des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur l'écart-type de vitesse ont été réalisées.

3.2.5. Performances de conduite : écart-type de vitesse

L'ensemble des prédicteurs de l'écart-type de vitesse était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur l'écart-type de vitesse, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 26).

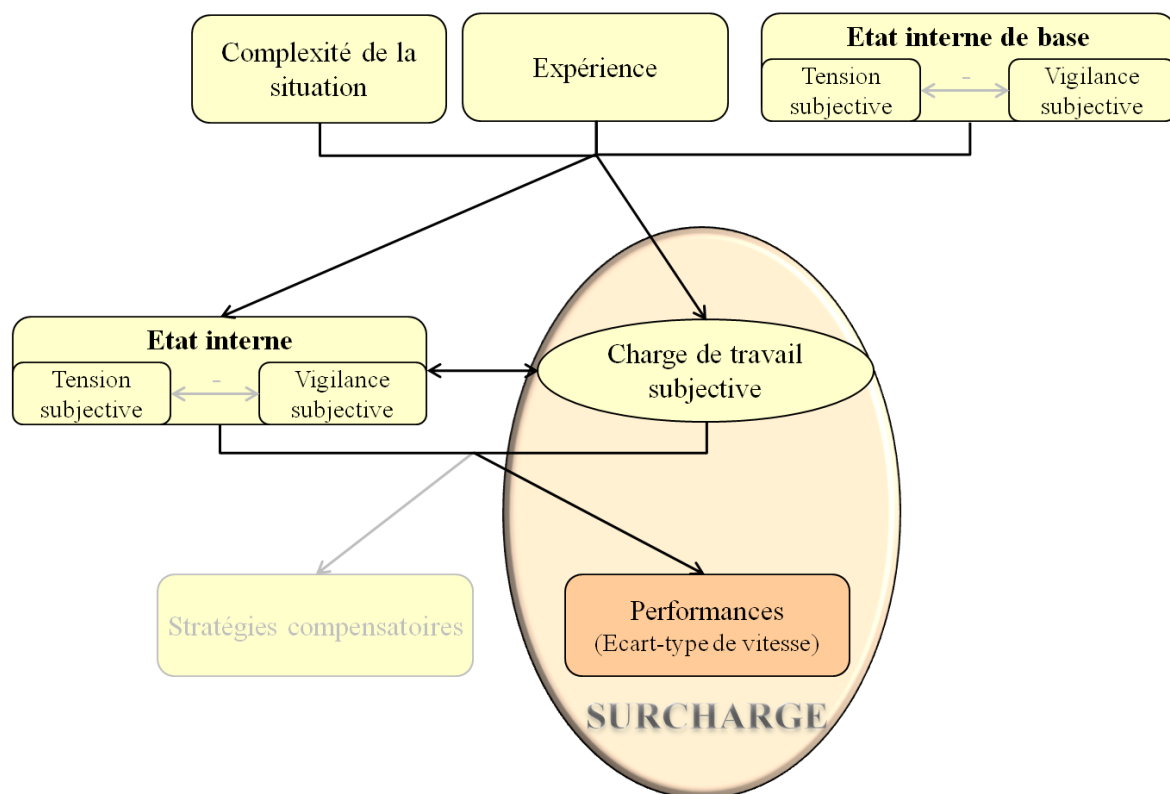


Figure 26. Prédicteurs de l'écart-type de vitesse.

Test de Sobel : effets indirects

La charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons, la tension et la vigilance subjectives après chaque situation n'étaient pas médiateurs des différents facteurs sur l'écart-type de la vitesse (voir Tableau 19).

Tableau 19. Scores z des effets indirects sur l'écart-type de vitesse *via* la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Vigilance subjective après	Via Tension subjective après
Expérience (Exp)	.31	-.60	.31
Situation (Sit)	1.07	-.62	.35
Vigilance subjective avant (VSav)	-.07	-.29	.11
Tension subjective avant (TSav)	.40	.89	.11
Vigilance subjective après (VSap)	-.14		
Tension subjective après (TSap)	.40		
Charge de travail subjective (CTS)		.85	.05
Interaction Exp * Sit	-.14	-.99	.10
Interaction Exp * TSav	-.47	-.50	-.47
Interaction Exp * VSav	.31	-.38	.07
Interaction Exp * TSap	-.40		
Interaction Exp * VSap	.32		
Interaction Exp * CTS		-1.06	-.22
Interaction Sit * TSav	.31	.62	-.06
Interaction Sit * VSav	.32	-.80	-.13
Interaction Sit * TSap	.38		
Interaction Sit * VSap	.33		
Interaction Sit * CTS		-.47	.14
Interaction TSav * VSav	.24	.60	-.86
Interaction TSap * VSap	.25		
Interaction TSav * CTS		-.70	.16
Interaction VSav * CTS		.73	.14

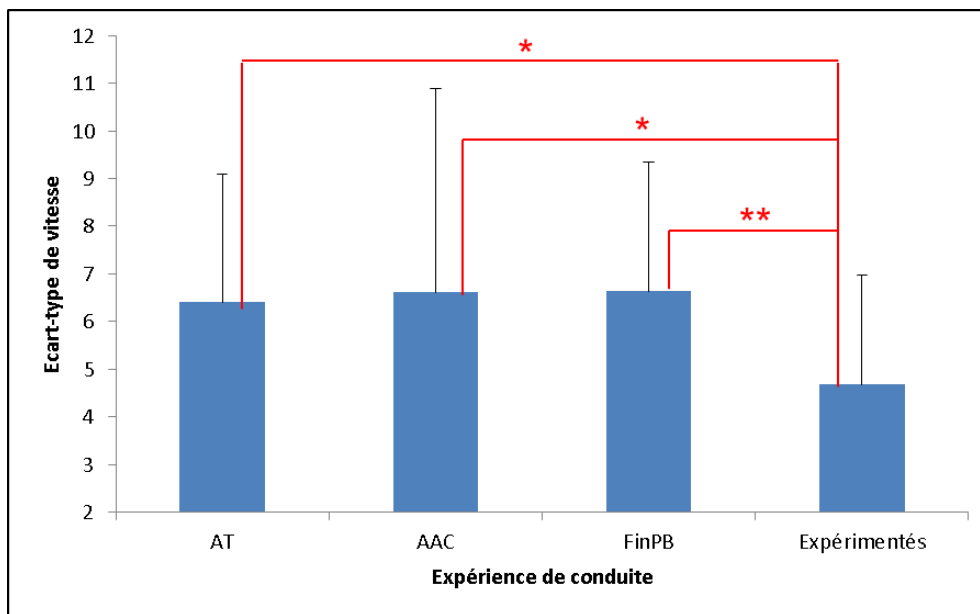
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Dans le modèle de régression polynomiale 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective après), les prédicteurs expliquaient 21.16% de la variance de l'écart-type de la vitesse (voir Tableau 18).

➤ Effets simples principaux significatifs

L'expérience de conduite influençait significativement l'écart-type de la vitesse (effet linéaire : $\beta = .20$, $p < .01$, effet non linéaire : $\beta = -.29$, $p < .001$). Les scores des Expérimentés ($M = 4.68$, $SD = 2.30$) étaient plus faibles que ceux des AT ($M = 6.40$, $SD = 2.68$), AAC ($M = 6.61$, $SD = 4.28$) et FinPB ($M = 6.63$, $SD = 2.72$) (voir Figure 27).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 27. Ecart-type de vitesse moyenne (en km/h) en fonction de l'expérience de conduite.

La situation avait également un effet significatif sur l'écart-type de la vitesse ($\beta = -.15$, $p < .05$), qui était plus élevée en situation simple ($M = 6.73$, $SD = 4.06$) qu'en très complexe ($M = 5.49$, $SD = 2.05$).

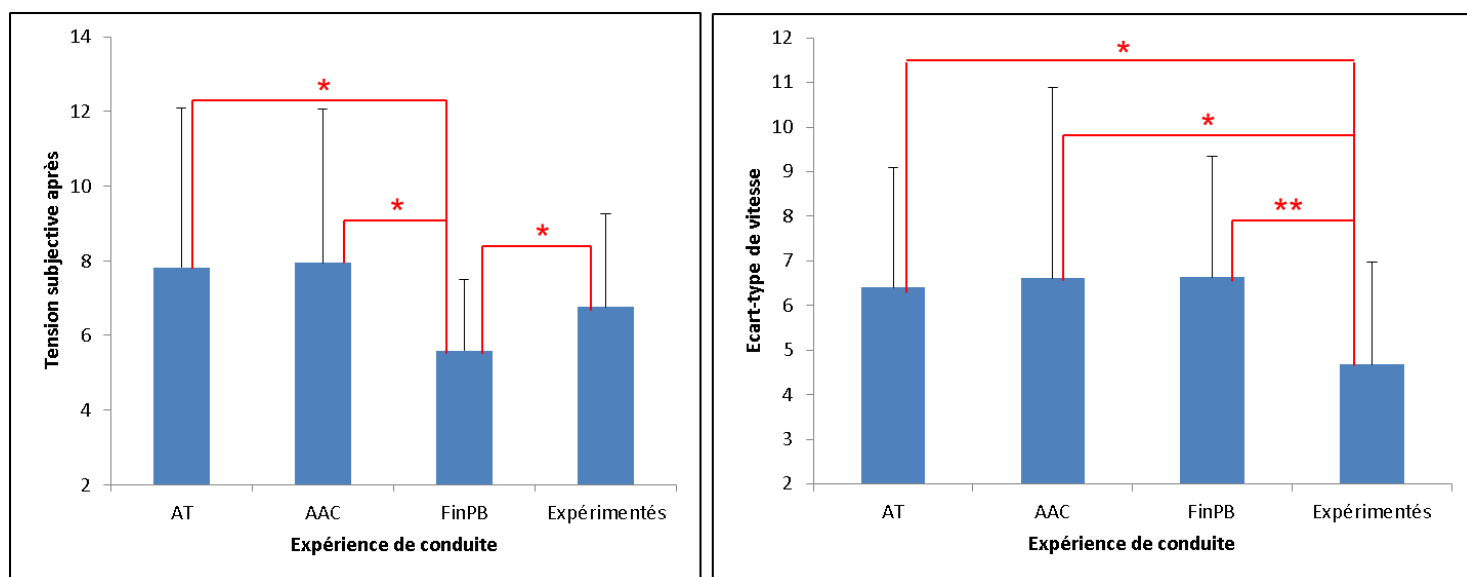
L'augmentation de la tension subjective après chaque situation entraînait une hausse significative de l'écart-type de la vitesse (effet linéaire : $\beta = .28$, $p < .05$), et une hausse de l'écart-type de la vitesse qui finissait ensuite par diminuer (effet non linéaire : $\beta = -.54$, $p < .01$).

L'augmentation de la vigilance subjective après chaque situation provoquait une légère hausse de l'écart-type de la vitesse suivie d'une diminution avec un effet non linéaire (effet non linéaire : $\beta = -.28$, $p < .01$).

➤ Effets d'interaction significatifs

L'interaction Expérience \times Tension subjective après chaque situation avait un effet non linéaire significatif sur l'écart-type de la vitesse ($\beta = .36$, $p < .01$). Le niveau de tension subjective après chaque situation était plus faible pour les FinPB ($M = 5.60$, $SD = 1.90$) que pour les AT ($M = 7.82$, $SD = 4.28$), AAC ($M = 7.94$, $SD = 4.11$) et Expérimentés ($M = 6.76$, $SD = 2.50$). Tandis que l'écart-type de la vitesse était plus faible pour les Expérimentés ($M =$

4.68, $SD = 2.30$) que pour les AT ($M = 6.40$, $SD = 2.68$), AAC ($M = 6.61$, $SD = 4.28$) et FinPB ($M = 6.63$, $SD = 2.72$) (voir Figure 28).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 28. Tension subjective après chaque situation (à gauche) et Ecart-type de vitesse moyenne (en km/h) (à droite) en fonction de l'expérience de conduite.

L'interaction Vigilance subjective avant \times Vigilance subjective après chaque situation avait un effet significatif sur l'écart-type de la vitesse ($\beta = .28$, $p < .01$), qui augmentait légèrement pour ensuite diminuer avec la vigilance subjective après (effet non linéaire : $\beta = -.28$, $p < .01$) mais qui ne variait pas avec la vigilance subjective avant chaque situation (effet linéaire : $\beta = -.08$, $n.s.$, effet non linéaire : $\beta = -.02$, $n.s.$).

L'interaction Tension \times Vigilance subjectives avant chaque situation avait un effet significatif sur l'écart-type de la vitesse ($\beta = .21$, $p < .01$). Cependant, ni la tension (effet linéaire : $\beta = .11$, $n.s.$, effet non linéaire : $\beta = -.12$, $n.s.$), ni la vigilance subjectives (effet linéaire : $\beta = -.08$, $n.s.$, effet non linéaire : $\beta = -.02$, $n.s.$) n'influençaient sur l'écart-type de la vitesse. Cet effet d'interaction était donc probablement dû à des variances partagées avec d'autres facteurs.

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

Les analyses de régression simple permettant d'identifier l'effet de la charge de travail subjective sur l'écart-type de la vitesse à la fois en fonction de l'expérience et de la situation n'ont révélé aucun effet significatif (voir Tableau 20).

Tableau 20. Effet de la charge de travail subjective sur l'écart-type de la vitesse pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, β	Moyenne, β	Très complexe, B
AT	.18	-.14	-.06
AAC	-.17	.15	.07
FinPB	.42	.26	.38
Expérimentés	-.24	-.17	.43
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

Résumé

ECART-TYPE DE VITESSE (Vit_écart)	
Facteurs entraînant une hausse de Vit_écart	Facteurs entraînant une baisse de Vit_écart
↑ Tension subjective après (linéaire)	↑ Tension subjective après (non linéaire)
	↑ Vigilance subjective après (non linéaire)
Vit_écart des AT, AAC et FinPB > Vit_écart des Expérimentés	
Vit_écart en situation simple > Vit_écart en situation très complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur l'écart-type de vitesse, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la Position Latérale moyenne (en mm) ont été réalisées.

3.2.6. Stratégies compensatoires : Position Latérale moyenne (en mm)

L'ensemble des prédicteurs de la Position Latérale moyenne était testé, avec les tests de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la Position Latérale moyenne, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 29).

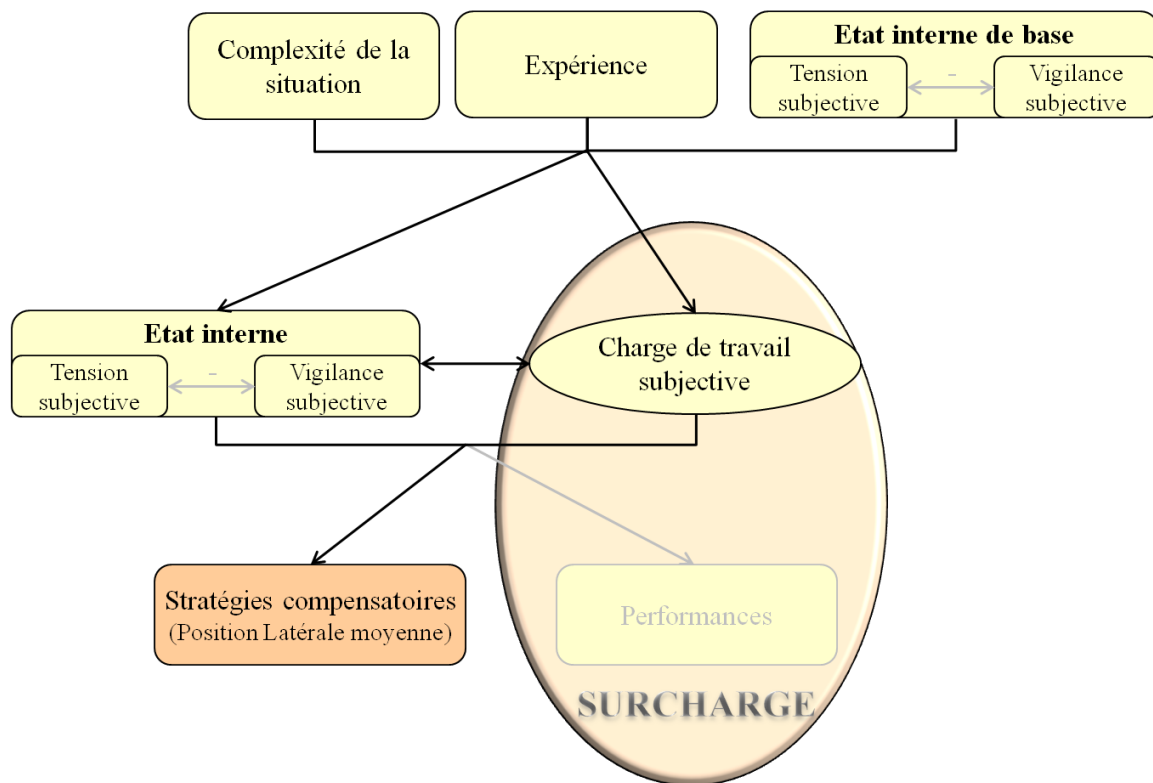


Figure 29. Prédicteurs de la Position Latérale moyenne.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun des facteurs n'avait d'effet significatif sur la Position Latérale (PL) moyenne par l'intermédiaire de la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons, de la tension et de la vigilance subjectives après chaque situation (voir Tableau 21).

Tableau 21. Scores z des effets indirects sur la Position Latérale moyenne *via* la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Vigilance subjective après	Via Tension subjective après
Expérience (Exp)	-.29	-.59	.23
Situation (Sit)	-1.62	.02	-.73
Vigilance subjective avant (VSav)	-.05	-.44	1.03
Tension subjective avant (TSav)	.29	.49	-.31
Vigilance subjective après (VSap)	-.43		
Tension subjective après (TSap)	.22		
Charge de travail subjective (CTS)		.57	-.34
Interaction Exp * Sit	-.14	.18	.24
Interaction Exp * TSav	-.30	-.53	.22
Interaction Exp * VSav	.31	.48	.19
Interaction Exp * TSap	-.31		
Interaction Exp * VSap	-.03		
Interaction Exp * CTS		-.61	.11
Interaction Sit * TSav	.38	.70	-.17
Interaction Sit * VSav	.29	-.41	.25
Interaction Sit * TSap	.32		
Interaction Sit * VSap	.30		
Interaction Sit * CTS		.46	.15
Interaction TSav * VSav	.39	-.36	-.08
Interaction TSap * VSap	.43		
Interaction TSav * CTS		.33	.13
Interaction VSav * CTS		.53	-.05

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Dans le modèle de régression polynomiale 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective après), les prédicteurs expliquaient 34% de la variance de la Position Latérale moyenne (voir Tableau 22).

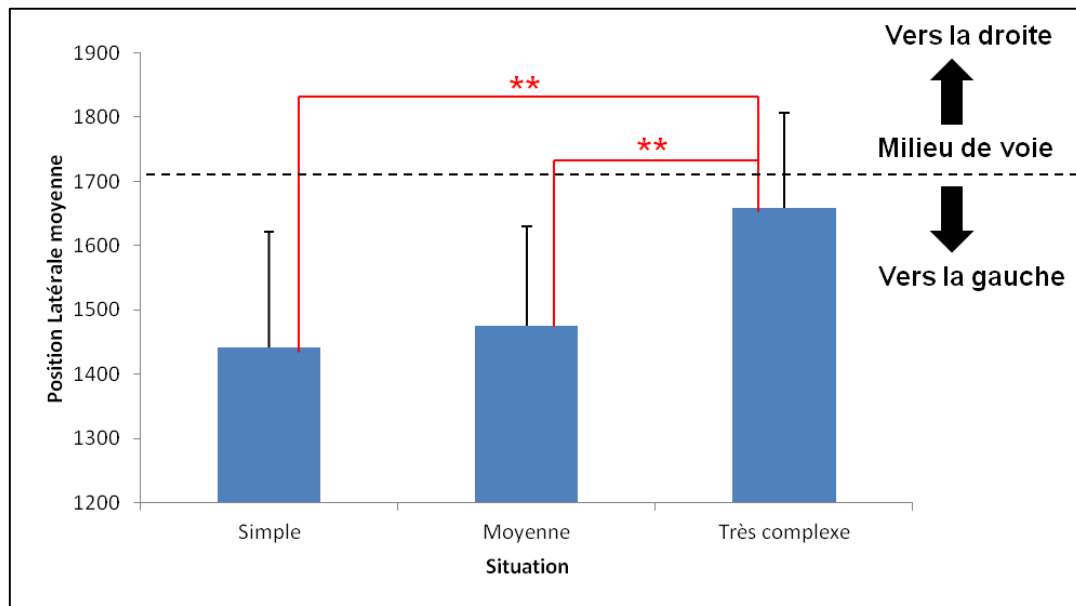
Tableau 22. Prédicteurs de position latérale (moyenne et écart-type).

Variables indépendantes	Variables dépendantes	Position Latérale moyenne		SDLP	
		β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Expérience (Exp)		-.03	-.19	-.15 *	.16
Situation (Sit)		.58 **	.18 *	.30 **	.22 *
Tension subjective avant (TSav)		.31	-.84	-.01	.27
Vigilance subjective avant (VSav)		-.15 *	-.53	.04	.05
Tension subjective après (TSap)		-.07	1.03	.17	-.55
Vigilance subjective après (VSap)		-.09	-.12	-.24	.28
Interaction Exp * Sit		-.02	.03	-.03	-.11
Interaction Exp * TSav		-.01	.42	.09	-.11
Interaction Exp * VSav		.03	.16	.16 *	-.06
Interaction Exp * TSap		-.06	-.24	-.08	.06
Interaction Exp * VSap		.11	.08	.05	-.12
Interaction Sit * TSav		-.08	.07	-.04	.04
Interaction Sit * VSav		.18 *	.18	-.02	.09
Interaction Sit * TSap		.04	-.47	.01	.08
Interaction Sit * VSap		-.02	-.06	.10	.03
Interaction TSav * VSav		-.17	.03	.25	-.06
Interaction TSav * TSap		-.18	-.16	-.02	.33
Interaction VSav * VSap		-.18 *	.25	.21	-.41
Interaction TSap * VSap		-.04	-.20	.22 *	.09
Charge de travail subjective (CTS)		-.24 **	-.11	-.04	.39 *
Interaction Exp * CTS		.11	.08	.13	.05
Interaction Sit * CTS		.13	-.02	.08	-.29 *
Interaction TSav * CTS		-.10	.24	.20 *	-.10
Interaction VSav * CTS		-.34 **	.15	.16 *	-.05
Interaction TSap * CTS		.02	-.07	.01	-.04
Interaction VSap * CTS		-.17	.02	-.06	.11

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La situation avait un effet significatif sur la PL moyenne (effet linéaire : $\beta = .58, p < .001$, effet non linéaire : $\beta = .18, p < .01$). En situation très complexe ($M = 1659.00, SD = 147.49$), les conducteurs étaient plus au centre de leur voie que dans les situations simple ($M = 1442.26, SD = 179.86$) et moyennement complexe ($M = 1475.63, SD = 154.82$) dans lesquelles ils étaient plus à gauche (voir Figure 30).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 30. Position Latérale moyenne (en mm) en fonction de la situation de conduite.

La hausse de la vigilance subjective avant chaque situation ainsi que la hausse de la charge de travail subjective faisaient significativement diminuer la PL moyenne (respectivement $\beta = -.15, p < .05$ et $\beta = -.24, p < .001$). Les conducteurs se positionnaient donc davantage à gauche sur leur voie, vers le marquage central.

➤ *Effets d'interaction significatifs*

L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant influençait significativement la PL moyenne ($\beta = .18, p < .05$), qui variait d'une situation à l'autre tandis que la vigilance ne variait pas entre les situations simple ($M = 1.61, SD = .92$), moyennement ($M = 1.69, SD = 1.00$) et très complexe ($M = 1.63, SD = 1.06$).

L'interaction Vigilance subjective avant chaque situation \times Charge de travail subjective avait un effet significatif sur la PL moyenne ($\beta = -.34, p < .001$), qui diminuait avec la vigilance ($\beta = -.15, p < .05$), et encore davantage avec la charge ($\beta = -.24, p < .001$).

L'interaction Vigilance subjective avant \times Vigilance subjective après chaque situation avait un effet significatif sur la PL moyenne ($\beta = -.18, p < .05$), qui diminuait avec la vigilance avant ($\beta = -.15, p < .05$) mais pas après chaque situation ($\beta = .02, n.s$).

Résumé

POSITION LATÉRALE MOYENNE (PosLat_moy)	
Facteurs entraînant une hausse de PosLat_moy	Facteurs entraînant une baisse de PosLat_moy
	↑ Vigilance subjective avant
	↑ Charge de travail subjective
PosLat_moy en situation très complexe (vers le milieu de voie) > PosLat_moy en situations simple et moyennement complexe (vers le marquage central)	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la Position Latérale moyenne (en mm), des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur les Déviations de la Position Latérale (SDLP) ont été réalisées.

3.2.7. Performances de conduite : Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP)

L'ensemble des prédicteurs des SDLP était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur les SDLP, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 31).

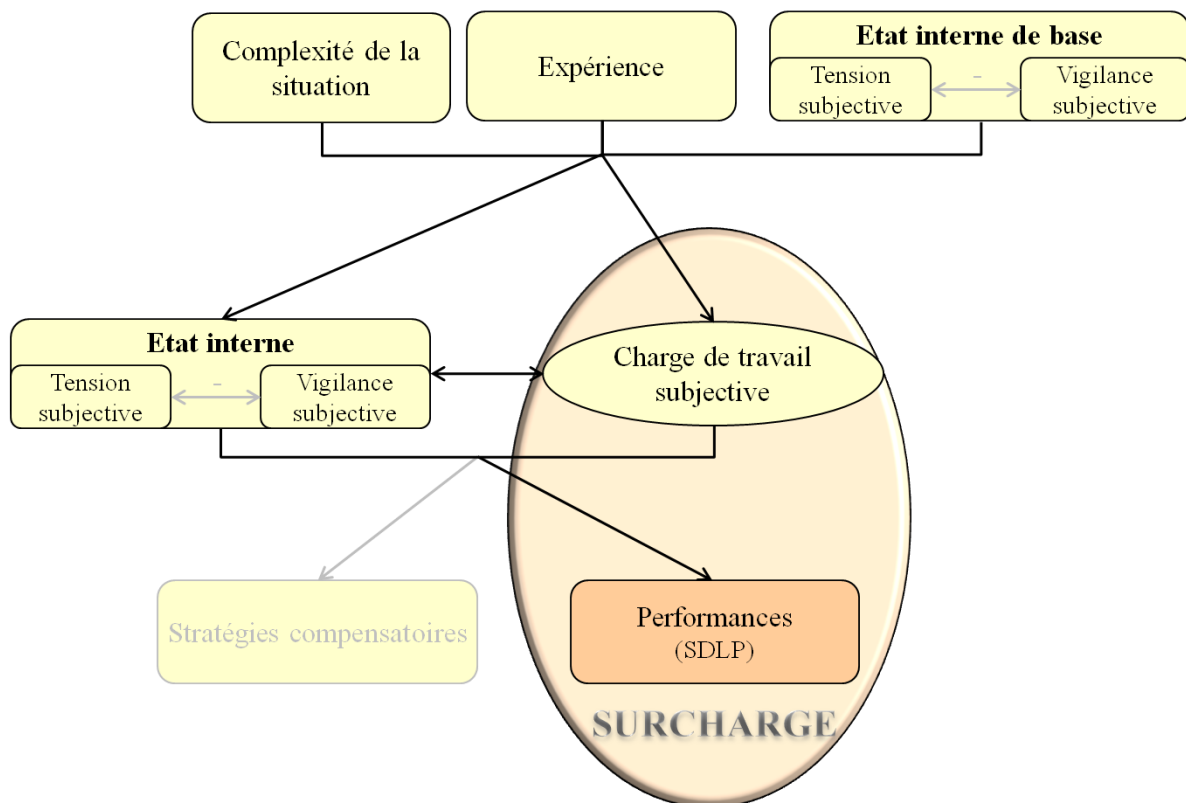


Figure 31. Prédicteurs des SDLP.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun des facteurs n'avait d'effet indirect significatif sur les SDLP, que ce soit par l'intermédiaire de la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons, de la tension ou de la vigilance subjectives après chaque situation (voir Tableau 23).

Tableau 23. Scores z des effets indirects sur les SDLP *via* la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Vigilance subjective après	Via Tension subjective après
Expérience (Exp)	-1.58	-.81	-.35
Situation (Sit)	1.27	-1.53	.41
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.70	-.81	-.42
Tension subjective avant (TSav)	1.47	1.43	.70
Vigilance subjective après (VSap)	-1.73		
Tension subjective après (TSap)	1.73		
Charge de travail subjective (CTS)		1.10	.32
Interaction Exp * Sit	-.15	-1.28	.18
Interaction Exp * TSav	-.19	-.54	-.36
Interaction Exp * VSav	.98	-.40	.52
Interaction Exp * TSap	-.97		
Interaction Exp * VSap	1.59		
Interaction Exp * CTS		-1.44	-.64
Interaction Sit * TSav	.93	.79	.66
Interaction Sit * VSav	.47	-1.16	-.44
Interaction Sit * TSap	.74		
Interaction Sit * VSap	.52		
Interaction Sit * CTS		-.51	.54
Interaction TSav * VSav	.85	1.17	-1.28
Interaction TSap * VSap	1.17		
Interaction TSav * CTS		-.92	.22
Interaction VSav * CTS		.95	.53

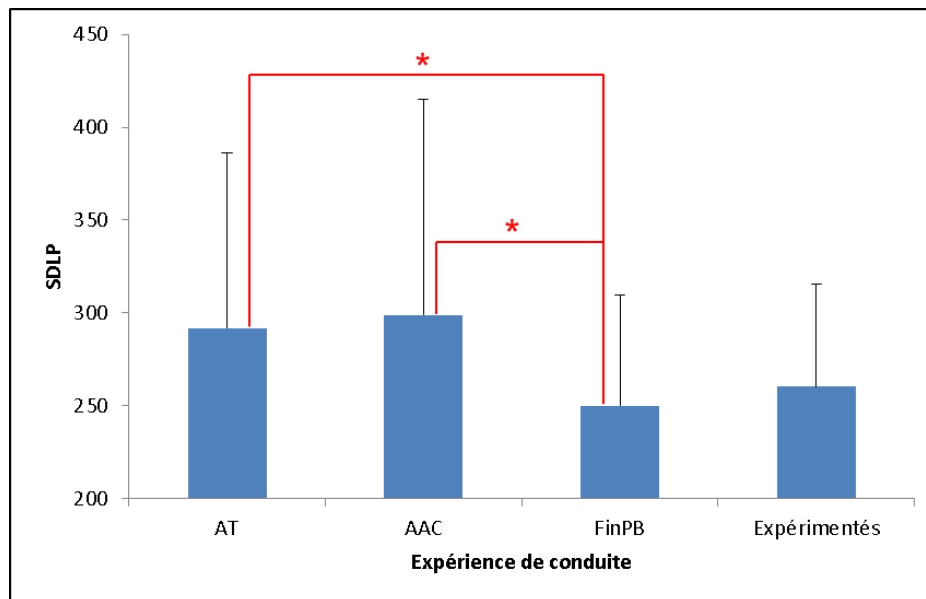
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Dans le modèle de régression polynomiale 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective après), les prédicteurs expliquaient 20% de la variance des SDLP (voir Tableau 22).

➤ Effets simples principaux significatifs

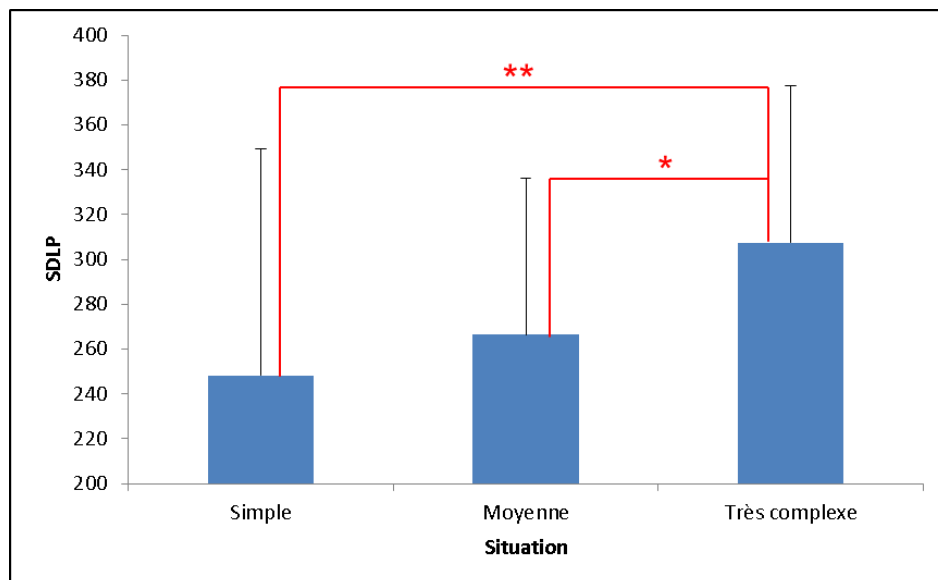
L'expérience de conduite avait un effet significatif sur les SDLP ($\beta = -.15$, $p < .05$), qui étaient plus faibles pour les FinPB ($M = 250.14$, $SD = 59.58$) que pour les AT ($M = 291.94$, $SD = 93.99$) et les AAC ($M = 298.85$, $SD = 116.42$) (voir Figure 32).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 32. SDLP en fonction de l'expérience de conduite.

La situation avait un effet significatif sur les SDLP (linéaire : $\beta = .30$, $p < .001$ et non linéaire : $\beta = .22$, $p < .05$), qui étaient plus élevées en situation très complexe ($M = 307.43$, $SD = 70.15$) qu'en situations simple ($M = 248.38$, $SD = 101.12$) et moyennement complexe ($M = 266.52$, $SD = 69.60$) (voir Figure 33).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

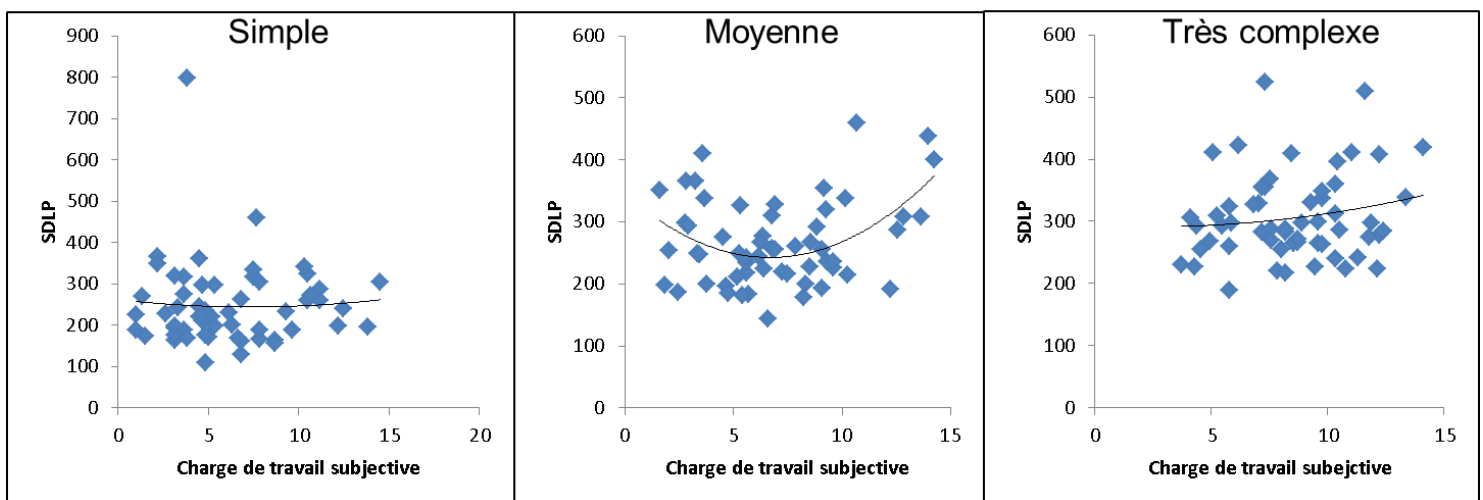
Figure 33. SDLP en fonction de la situation de conduite.

La hausse de la charge de travail subjective entraînait une légère baisse suivie d'une augmentation des SDLP (effet non linéaire : $\beta = .39$, $p < .01$)).

➤ *Effets d'interaction significatifs*

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant chaque situation avait un effet significatif sur les SDLP ($\beta = .16, p < .05$). Les FinPB ($M = 2.01, SD = 1.17$) avaient un niveau de vigilance subjective plus élevé que les AT ($M = 1.52, SD = .90$) et les AAC ($M = 1.34, SD = .88$), tandis que les SDLP étaient plus faibles pour les FinPB ($M = 250.14, SD = 59.58$) que pour les AT ($M = 291.94, SD = 93.99$) et les AAC ($M = 298.85, SD = 116.42$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif sur les SDLP ($\beta = -.29, p < .05$). En situation moyennement complexe, la hausse de la charge entraînait une diminution suivie d'une augmentation des SDLP (effet linéaire : $\beta = -1.43, p < .01$ et non linéaire : $\beta = 1.68, p < .01$), tandis qu'en situations simple (effet linéaire : $\beta = -.16, n.s$ et non linéaire : $\beta = .16, n.s$) et très complexe (effet linéaire : $\beta = -.06, n.s$ et non linéaire : $\beta = .23, n.s$), aucun effet significatif n'était observé (voir Figure 34).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 34. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP en fonction de la situation de conduite.

L'interaction Tension subjective avant chaque situation \times Charge de travail subjective avait un effet significatif sur les SDLP ($\beta = .20, p < .01$), qui augmentaient avec la charge de travail subjective ($\beta = .18, p < .05$) mais ne variaient pas avec la tension subjective ($\beta = .03, n.s$).

L'interaction Vigilance subjective avant chaque situation \times Charge de travail subjective avait un effet significatif sur les SDLP ($\beta = .16, p < .05$), qui augmentaient avec la charge ($\beta = .18, p < .05$) mais ne variaient pas avec la vigilance ($\beta = -.15, n.s$).

L'interaction Tension \times Vigilance subjectives après chaque situation avait un effet significatif sur les SDLP ($\beta = .22, p < .01$). Cependant, aucun effet simple de la tension ($\beta = .26, n.s$) ni de la vigilance ($\beta = -.14, n.s$) n'était observé sur les SDLP. Ceci était probablement dû à des variances partagées avec d'autres facteurs.

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

Les analyses de régression simple identifiant l'effet de la charge de travail subjective sur les SDLP à la fois en fonction de l'expérience et de la situation ont révélé un effet significatif. La hausse de la charge de travail subjective entraînait une hausse des SDLP ($\beta = .67, p < .05$) uniquement pour les AAC en situation moyennement complexe (voir tableau 24).

Tableau 24. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, β	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	-.04	.09	.02
AAC	-.21	.67 *	.35
FinPB	-.16	-.49	-.48
Expérimentés	.32	.02	.06

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Résumé

DEVIATIONS STANDARD DE LA POSITION LATÉRALE (SDLP)	
Facteurs entraînant une hausse de SDLP	Facteurs entraînant une baisse de SDLP
Pour les AAC en situation « Moyenne » : ↑ Charge de travail subjective = SURCHARGE	
SDLP des novices (AT et AAC) > SDLP des FinPB	
SDLP en situation très complexe > SDLP en situations simple et moyennement complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur les Déviations de la Position Latérale (SDLP), des analyses ont été réalisées sur les portions avec piétons, premièrement pour identifier les variables ayant un effet sur la charge de travail subjective attribuée aux 2^e et 3^e piétons.

3.3. Portions avec piétons

3.3.1 Charge de travail subjective attribuée aux 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs de la charge de travail subjective attribuée aux 2^e et 3^e piétons était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la charge, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 35).

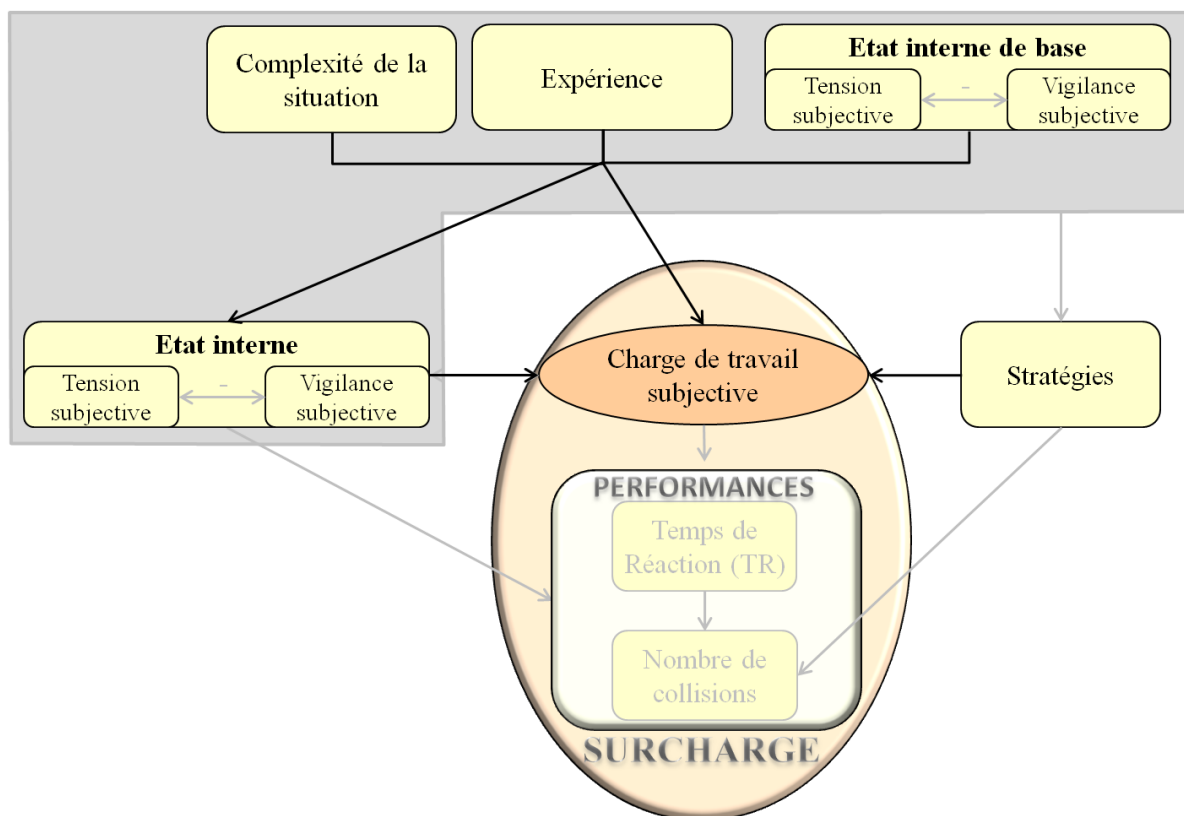


Figure 35. Prédicteurs de la charge de travail subjective attribuée aux piétons.

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel a révélé que la vigilance subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet de la situation sur la charge de travail subjective ($z = -2.09, p < .05$). La hausse de la complexité de la situation augmentait la vigilance ($\beta = .15, p < .01$) avec des scores plus faibles en situation simple ($M = 1.23, SD = .79$) qu'en très complexe ($M = 1.57, SD = .96$). Aucune différence significative n'était observée entre ces deux situations et la situation moyennement complexe ($M = 1.34, SD = .97$). A son tour, la hausse de vigilance diminuait la charge de travail subjective ($\beta = -.15, p < .01$).

Aucun autre effet significatif n'était observé concernant les autres facteurs étudiés ayant un effet sur la charge de travail subjective *via* la vigilance subjective après chaque situation, *via* la tension subjective après chaque situation, ou encore *via* les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons (voir Tableau 25).

Tableau 25. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective *via* les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation, et les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Vigilance subjective après	Via Stratégies d'évitement
Expérience (Exp)	-.68	-1.16	.44
Situation (Sit)	1.03	-2.09 *	.48
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.62	-2.12	.58
Tension subjective avant (TSav)	1.23	2.11	.62
Vigilance subjective après (VSap)			.53
Tension subjective après (TSap)			.35
Interaction Exp * Sit	.29	-1.97	-.51
Interaction Exp * TSav	-1.03	-.78	-.57
Interaction Exp * VSav	.82	-.56	-.01
Interaction Exp * TSap			-.38
Interaction Exp * VSap			-.01
Interaction Sit * TSav	1.14	1.14	-.78
Interaction Sit * VSav	-.70	-1.67	.35
Interaction Sit * TSap			.01
Interaction Sit * VSap			-.59
Interaction TSav * VSav	-1.67	1.81	1.00
Interaction TSap * VSap			.64

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Pour les scores moyens de charge de travail subjective, la régression polynomiale de second ordre 4 (Expérience) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation) \times 4 (Stratégie) était ainsi réalisée. Dans ce modèle, tous les prédicteurs expliquaient 35% de la variance (voir Tableau 26).

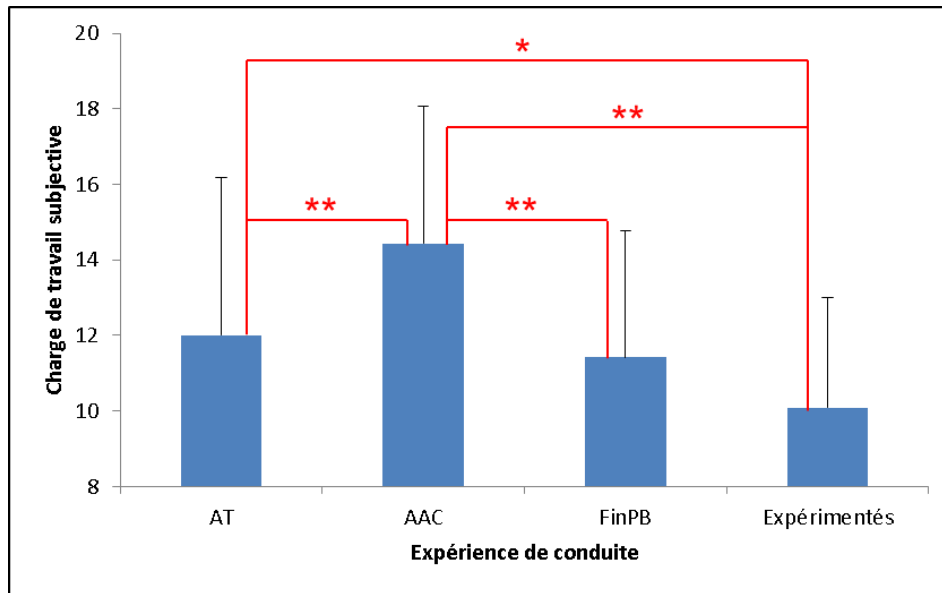
Tableau 26. Prédicteurs de charge, tension et vigilance.

Variables indépendantes	Variables dépendantes		Tension subjective après		Vigilance subjective après	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Expérience (Exp)	-.26 **	-.33 **	.10 *	.07		
Situation (Sit)			.11	.10		
Tension subjective avant (TSav)	.06	.08	.58 **	-.05	-.16 *	.25 *
Vigilance subjective avant (VSav)	.30 **	-.47 **	-.12 **	.01	.48 **	.31 **
Tension subjective après (TSap)	.28 **	-.17				
Vigilance subjective après (VSap)	-.18 *	-.29 *				
Stratégies (Strat)	-.01	-.21				
Interaction Exp * Sit	.01	.09	.03	-.11	.15 **	.16 *
Interaction Exp * TSav	-.11	.28 **	-.11 *	.06	.06	.07
Interaction Exp * VSav	.07	.04	.04	-.01	.03	-.11
Interaction Exp * TSap	.16	-.16				
Interaction Exp * VSap	.25 **	.27 **				
Interaction Exp * Strat	-.02	-.18 *				
Interaction Sit * TSav	.17	-.19 *	.12 *	.17 **	.01	-.02
Interaction Sit * VSav	-.01	.16	.05	-.07	-.06	-.15 *
Interaction Sit * TSap	-.20	.29				
Interaction Sit * VSap	-.07	-.21				
Interaction Sit * Strat	-.01	.11				
Interaction TSav * VSav	-.03	.26	-.05	.28 **	-.12 *	-.26 **
Interaction TSav * TSap	-.20 *	-.24				
Interaction TSav * Strat	-.06	.05				
Interaction VSav * VSap	.24 **	.00				
Interaction VSav * Strat	.18 *	.39 **				
Interaction TSap * VSap	.12	-.18 *				
Interaction TSap * Strat	.01	.09				
Interaction VSap * Strat	.11	.06				
Charge de travail subjective (CTS)			.07 *	-.05	-.18 **	.27 **
Interaction Exp * CTS			.02	.14 **	.09 *	-.28 **
Interaction Sit * CTS			-.10 *	.01	.03	.01
Interaction TSav * CTS			-.05	-.27 **	.06	.01
Interaction VSav * CTS			.05	.01	.13 *	.08

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

Avec l'expérience de conduite, la charge de travail subjective diminuait significativement (effet linéaire : $\beta = -.22, p < .001$; effet non linéaire : $\beta = -.33, p < .001$). Les AT ($M = 14.43, SD = 3.63$) avaient des scores plus élevés que les AAC ($M = 12.00, SD = 4.18$) et les Expérimentés ($M = 10.08, SD = 2.91$). De plus, les scores des AAC étaient plus élevés que ceux des FinPB ($M = 11.42, SD = 3.34$) et des Expérimentés (voir Figure 36).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 36. Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite.

La hausse de vigilance subjective avant chaque situation augmentait significativement la charge avec un effet linéaire ($\beta = .30, p < .001$) et la diminuait avec un effet non linéaire ($\beta = -.47, p < .001$).

La hausse de vigilance subjective après chaque situation diminuait significativement la charge (effet linéaire : $\beta = -.18, p < .05$; effet non linéaire : $\beta = -.29, p < .05$).

Enfin, la hausse de la tension subjective après chaque situation augmentait significativement la charge ($\beta = .28, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction significatifs*

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .28, p < .001$). Pour les AT, la hausse de tension augmentait la charge de travail subjective ($\beta = .22, p < .05$) tandis que pour les AAC, cela diminuait la charge ($\beta = -.30, p < .01$) et

aucun effet significatif n'était observé pour les FinPB ($\beta = -.05, n.s$) et les Expérimentés ($\beta = .03, n.s$).

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après avait des effets linéaire ($\beta = .25, p < .001$) et non linéaire significatifs ($\beta = .27, p < .001$). Pour les AT et les FinPB, la hausse de vigilance diminuait la charge de travail subjective (respectivement $\beta = -.39, p < .001$; $\beta = -.24, p < .05$) alors que pour les AAC et les Expérimentés, cela augmentait la charge (respectivement $\beta = .29, p < .05$; $\beta = .26, p < .05$) (voir Figure 37).

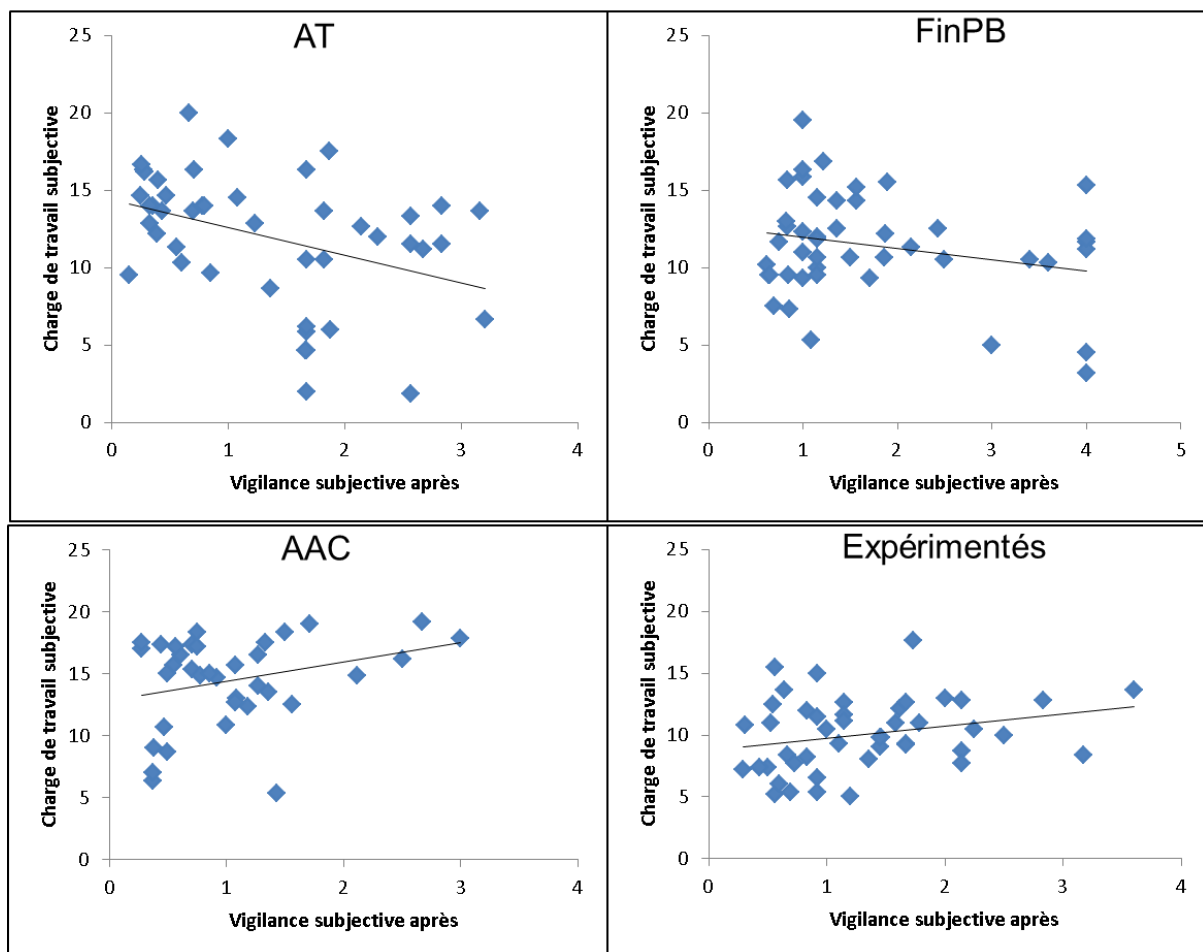


Figure 37. Effet de la vigilance subjective après chaque situation sur la Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite.

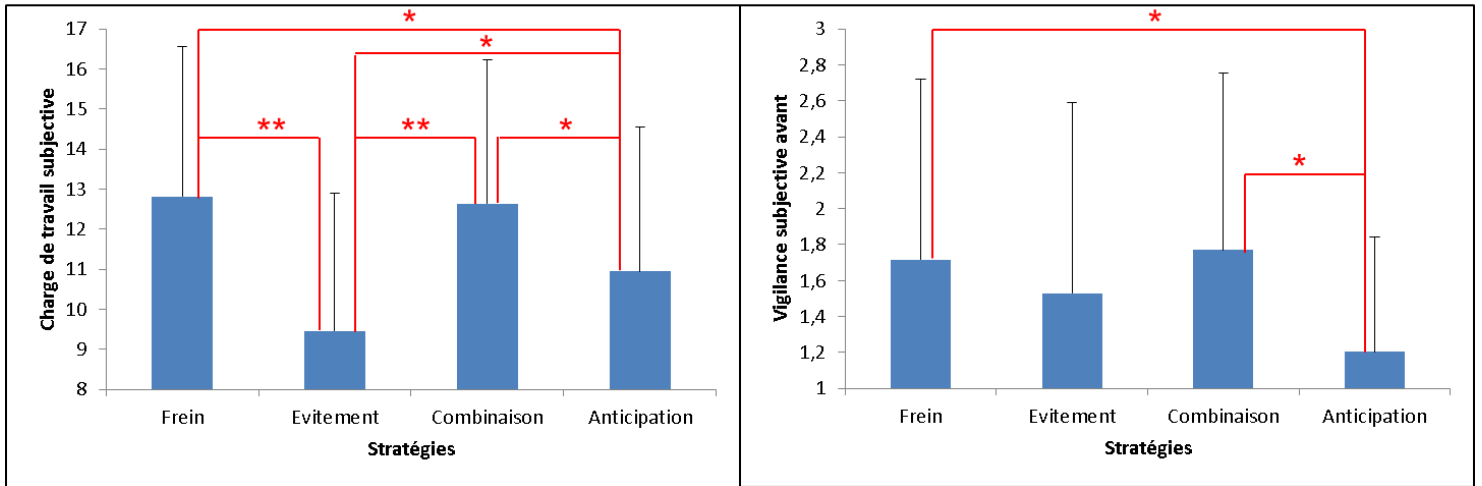
L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait également un effet non linéaire significatif ($\beta = -.19, p < .05$). Les scores de charge étaient plus faibles en situation simple ($M = 11.01, SD = 3.94$) qu'en situations moyennement complexe ($M = 12.12, SD = 3.60$) et très complexe ($M = 12.44, SD = 3.83$), tandis que les scores de tension ne variaient pas entre les situations simple ($M = 7.07, SD = 3.18$), moyennement complexe ($M = 7.12, SD = 3.61$) et très complexe ($M = 6.75, SD = 3.02$).

Concernant les stratégies, deux effets d'interaction ont été révélés. L'interaction Stratégies \times Expérience avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.18, p < .05$). Pour les AAC et FinPB, les scores de charge étaient plus faibles pour l'écart que pour le freinage et la combinaison de l'écart et du freinage. Leurs scores étaient également plus faibles pour l'anticipation que pour le freinage (pour les AAC et FinPB) et l'écart (seulement pour les FinPB). Contrairement à ces groupes, les AT et Expérimentés ne présentaient aucune différence de scores entre les stratégies (voir Tableau 27).

Tableau 27. Charge de travail subjective pour chaque groupe et chaque stratégie.

Expérience de conduite	Freinage, <i>M (SD)</i>	Ecart, <i>M (SD)</i>	Combinaison, <i>M (SD)</i>	Anticipation, <i>M (SD)</i>
AT	12.08 (4.74)	10.38 (3.49)	12.75 (4.07)	11.32 (3.75)
AAC	16.07 (1.58)	10.15 (3.78)	15.79 (2.40)	13.56 (4.52)
FinPB	12.50 (3.16)	7.75 (4.00)	11.94 (2.71)	9.92 (2.61)
Expérimentés	10.57 (2.31)	9.25 (2.99)	10.69 (3.02)	9.42 (3.01)

L'interaction Stratégies \times Vigilance subjective avant avait également des effets linéaire ($\beta = .18, p < .05$) et non linéaire significatifs ($\beta = .39, p < .001$). Les scores de charge de travail subjective étaient plus faibles pour l'écart ($M = 9.45, SD = 3.45$) que pour le freinage ($M = 12.81, SD = 3.75$), la combinaison ($M = 12.64, SD = 3.59$) et l'anticipation ($M = 10.95, SD = 3.60$). De plus, les scores étaient plus faibles pour l'anticipation que pour le freinage et la combinaison. Il en était de même pour les scores de vigilance plus faibles pour l'anticipation ($M = 1.20, SD = .64$) que pour le freinage ($M = 1.71, SD = 1.01$) et la combinaison ($M = 1.77, SD = .98$), mais sans aucune différence entre l'écart ($M = 1.53, SD = 1.06$) et les autres stratégies (voir Figure 38).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 38. Charge de travail subjective en fonction des stratégies d'évitement des piétons.

L'interaction Tension subjective avant \times Tension subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.20, p < .05$). La tension subjective avant chaque situation n'influait pas la charge ($\beta = .06, n.s$) tandis que la hausse de tension subjective après augmentait la charge ($\beta = .28, p < .001$).

De même, l'interaction Vigilance subjective avant \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = .24, p < .001$). La vigilance subjective avant n'influait pas la charge ($\beta = .33, n.s$) tandis qu'après chaque situation, la vigilance diminuait la charge ($\beta = -.18, p < .05$).

De plus, l'interaction Tension subjective après \times Vigilance subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.18, p < .05$). La hausse de tension augmentait la charge ($\beta = .28, p < .001$) tandis que la hausse de vigilance la diminuait ($\beta = -.18, p < .05$).

Résumé

CHARGE DE TRAVAIL SUBJECTIVE (CTS)	
Facteurs entraînant une hausse de CTS	Facteurs entraînant une baisse de CTS
↓ Complexité de la situation (en simple) => ↓ Vigilance subjective après	↑ Complexité de la situation (en très complexe) => ↑ Vigilance subjective après
↑ Vigilance subjective avant => ↑ Charge de travail subjective (linéaire)	↑ Vigilance subjective avant => ↓ Charge de travail subjective (non linéaire)
↑ Tension subjective après	
<i>Pour les novices AT :</i> ↑ Tension subjective avant	<i>Pour les novices AAC :</i> ↑ Tension subjective avant
<i>Pour les AAC et Expérimentés :</i> ↑ Vigilance subjective après	<i>Pour les AT et FinPB :</i> ↑ Vigilance subjective après
CTS des AT > CTS des AAC et Expérimentés	
CTS des AAC > CTS des FinPB et Expérimentés	
<i>Pour les AAC et FinPB :</i> - CTS avec les stratégies « Frein » et « Combinaison » > CTS avec « Ecart » - CTS avec la stratégie « Frein » > CTS avec « Anticipation »	
<i>Pour les FinPB :</i> CTS avec la stratégie « Ecart » > CTS avec « Anticipation »	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la charge de travail subjective attribuée aux 2^e et 3^e piétons, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la tension subjective après chaque situation ont été réalisées.

3.3.2 Tension subjective après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs de la tension subjective après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la tension, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 39).

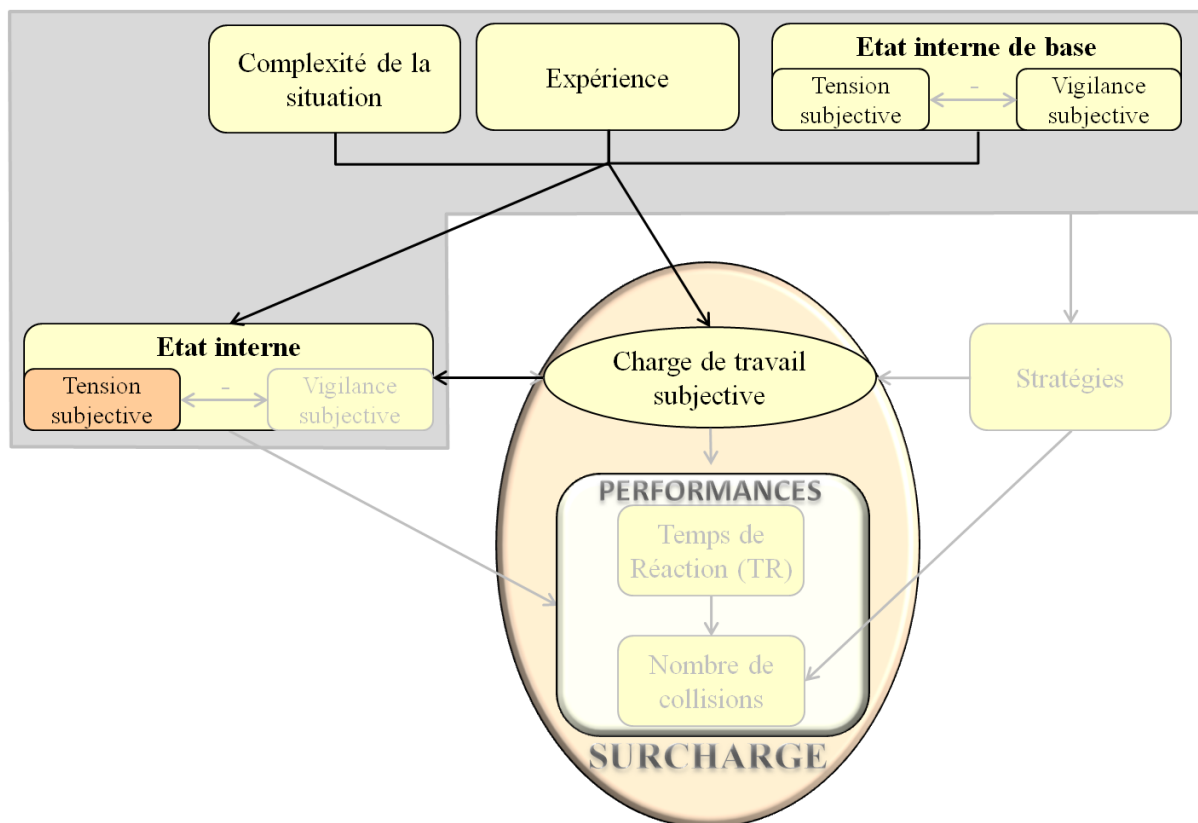


Figure 39. Prédicteurs de la tension subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel n'a révélé aucun effet médiateur sur la tension subjective après chaque situation, *via* la charge de travail subjective (voir Tableau 28).

Tableau 28. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective
Expérience (Exp)	-.69
Situation (Sit)	1.12
Vigilance subjective avant (VSav)	1.07
Tension subjective avant (TSav)	.72
Interaction Exp * Sit	.35
Interaction Exp * TSav	-.82
Interaction Exp * VSav	1.15
Interaction Sit * TSav	1.02
Interaction Sit * VSav	-.51

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de tension subjective après chaque situation étaient ainsi soumis à la régression polynomiale 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective). Dans ce modèle, les prédicteurs expliquaient 65% de la variance (voir Tableau 26).

➤ Effets simples principaux significatifs

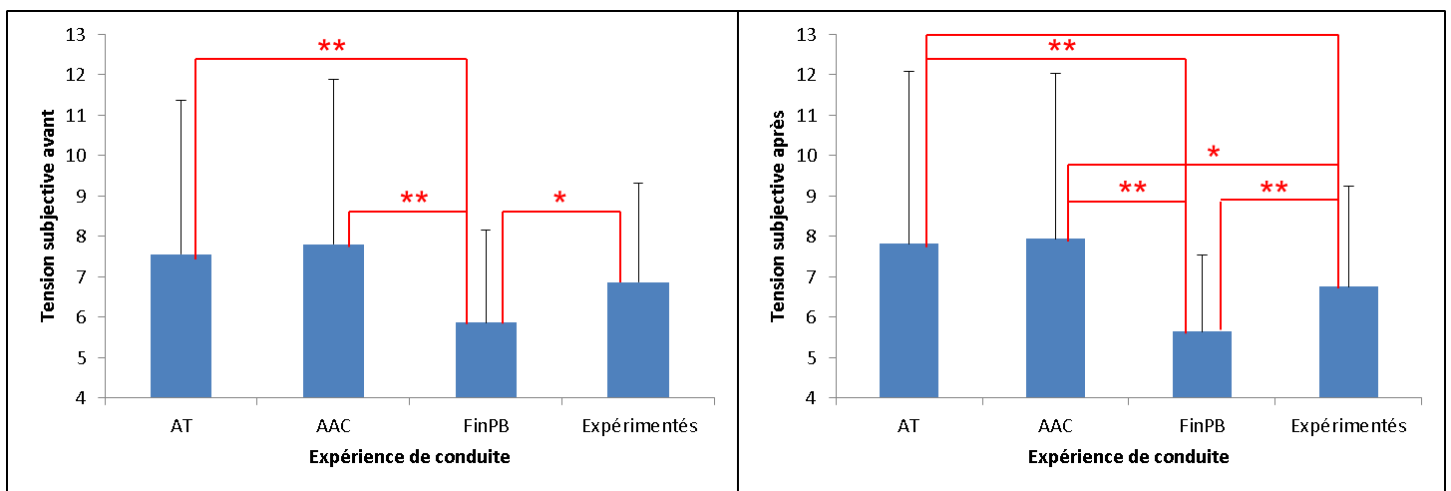
Plusieurs effets simples principaux ont été observés. La hausse de la complexité de la situation augmentait significativement la tension subjective après chaque situation ($\beta = .10$, $p < .01$), avec des scores plus faibles en situation simple ($M = 6.54$, $SD = 2.84$) qu'en très complexe ($M = 7.42$, $SD = 3.80$). Aucune différence n'était observée entre la situation moyennement complexe ($M = 7.02$, $SD = 3.48$) et les deux autres situations.

La hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective après ($\beta = .07$, $p < .05$).

Enfin, la hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait la tension subjective après chaque situation ($\beta = .58$, $p < .001$), tandis que la hausse de vigilance subjective avant chaque situation la diminuait ($\beta = -.12$, $p < .001$). Ceci pouvait expliquer l'effet non linéaire d'interaction tension subjective avant \times vigilance subjective avant ($\beta = .28$, $p < .001$).

➤ *Effets d'interaction significatifs*

Plusieurs autres effets d'interactions ont été montrés. L'interaction Expérience × Tension subjective avant révélait un effet linéaire significatif ($\beta = -.11, p < .05$). Les FinPB ($M = 5.87, SD = 2.30$) avaient de plus faibles scores de tension subjective avant chaque situation que les AT ($M = 7.56, SD = 3.80$), les AAC ($M = 7.81, SD = 4.08$) et les Expérimentés ($M = 6.87, SD = 2.45$). Les FinPB ($M = 5.64, SD = 1.90$) avaient également de plus faibles scores de tension subjective après chaque situation que les AT ($M = 7.82, SD = 4.25$), les AAC ($M = 7.94, SD = 4.08$) et les Expérimentés ($M = 6.76, SD = 2.48$), avec tout de même des scores plus élevés pour les Expérimentés que pour les AT et AAC (voir Figure 40).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

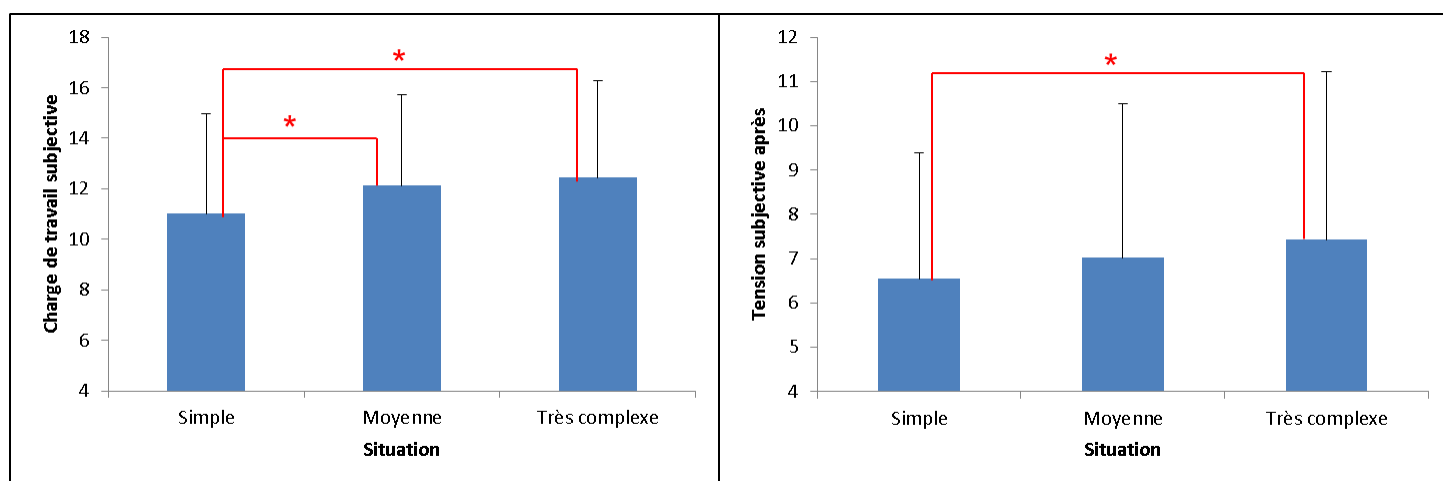
Figure 40. Tension subjective avant (à gauche) et après (à droite) chaque situation en fonction de l'expérience de conduite.

L'interaction Expérience × Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .14, p < .001$). Pour les AAC, la hausse de charge de travail subjective diminuait la tension subjective après chaque situation ($\beta = -.32, p < .01$) tandis qu'aucun effet n'était observé pour les AT ($\beta = .17, n.s$), FinPB ($\beta = .03, n.s$) et Expérimentés ($\beta = .19, n.s$).

L'interaction complexité de la Situation × Tension subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = .12, p < .05$) et non linéaire significatifs ($\beta = .17, p < .001$). Aucune différence de tension subjective avant chaque situation n'était remarquée entre les situations simple ($M = 7.07, SD = 3.18$), moyennement complexe ($M = 7.12, SD = 3.61$) et très complexe ($M = 6.75, SD = 3.02$). Cependant, les scores de tension subjective après chaque situation étaient plus faibles en situation simple ($M = 6.54, SD = 2.84$) qu'en très complexe ($M = 7.42, SD = 3.80$), sans

aucune différence entre la situation moyennement complexe ($M = 7.02$, $SD = 3.48$) et les deux autres.

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.10$, $p < .05$). La charge était plus faible en situation simple ($M = 11.01$, $SD = 3.94$) qu'en moyennement complexe ($M = 12.12$, $SD = 3.60$) et très complexe ($M = 12.44$, $SD = 3.83$), tandis que la tension subjective après était seulement plus faible en situation simple qu'en très complexe (voir les scores cités au-dessus) (voir Figure 41).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 41. Charge de travail subjective (à gauche) et Tension subjective après chaque situation (à droite) en fonction de la situation de conduite.

Dernièrement, l'interaction Tension subjective avant \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.27$, $p < .001$). Même si ces deux facteurs avaient des effets principaux positifs, l'interaction pouvait s'expliquer dans la mesure où tous deux interagissaient à la fois avec l'expérience et avec la complexité de la situation, modulant ainsi leurs effets principaux.

Résumé

TENSION SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (TSap)	
Facteurs entraînant une hausse de TSap	Facteurs entraînant une baisse de TSap
↑ Tension subjective avant	↑ Vigilance subjective avant
	Pour les novices AAC : ↑ Charge de travail subjective
TSap en situation très complexe > TSap en situation simple	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la tension subjective après chaque situation, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la vigilance subjective après chaque situation ont été réalisées.

3.3.3 Vigilance subjective après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la vigilance, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 42).

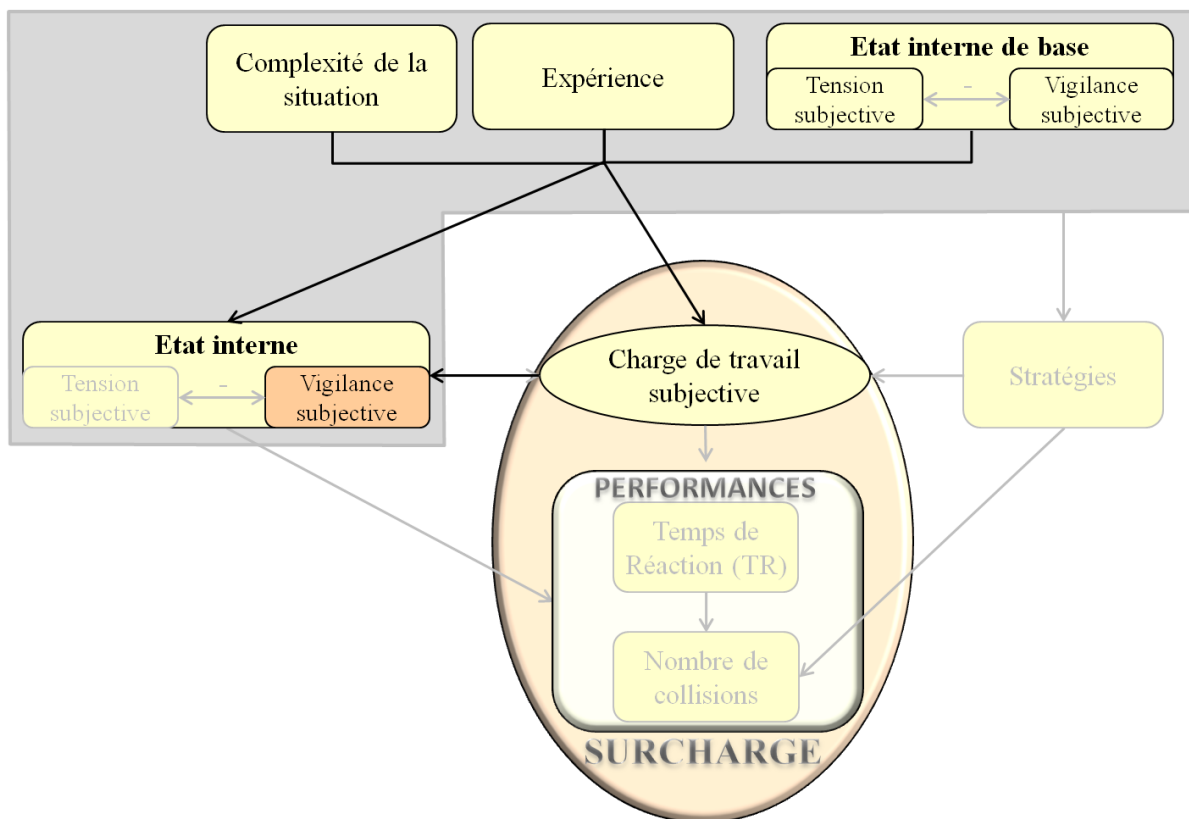


Figure 42. Prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel a révélé que la charge de travail subjective était médiatrice des effets de la complexité de la situation ($z = -2.14$, $p < .05$) et de l'expérience ($z = 2.19$, $p < .05$) sur la vigilance subjective après chaque situation.

La hausse de la complexité de la situation augmentait la charge de travail subjective ($\beta = .15$, $p < .01$). Les scores de charge étaient plus faibles en situation simple ($M = 11.01$, $SD = 3.94$) qu'en situations moyennement complexe ($M = 12.12$, $SD = 3.60$) et très complexe ($M = 12.44$, $SD = 3.83$). A son tour, la hausse de charge de travail subjective diminuait la vigilance subjective ($\beta = -.17$, $p < .01$).

De plus, le manque d'expérience augmentait la charge de travail subjective ($\beta = -.25$, $p < .001$). Les AT ($M = 14.43$, $SD = 3.63$) avaient des scores de charge plus élevés que les AAC

($M = 12.00$, $SD = 4.18$), les FinPB ($M = 11.42$, $SD = 3.34$) et les Expérimentés ($M = 10.08$, $SD = 2.91$). Les scores des AAC étaient également plus élevés que ceux des Expérimentés. À son tour, la hausse de charge de travail subjective diminuait la vigilance subjective ($\beta = -.14$, $p < .05$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur la vigilance subjective après chaque situation (voir Tableau 29).

Tableau 29. Scores z des effets indirects sur la vigilance subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective
Expérience (Exp)	2.19*
Situation (Sit)	-2.14 *
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.27
Tension subjective avant (TSav)	-.84
Interaction Exp * Sit	-.35
Interaction Exp * TSav	1.19
Interaction Exp * VSav	-1.66
Interaction Sit * TSav	-1.45
Interaction Sit * VSav	.54

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de vigilance subjective étaient ainsi soumis à la régression polynomiale 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Charge de travail subjective). Dans ce modèle, les prédicteurs expliquaient 48% de la variance (voir Tableau 26).

➤ *Effets simples principaux et effets d'interaction significatifs*

La hausse de tension subjective avant chaque situation diminuait significativement la vigilance subjective avec un effet linéaire ($\beta = -.16$, $p < .05$) et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = .25$, $p < .05$). Par ailleurs, la hausse de vigilance subjective avant chaque situation augmentait significativement la vigilance subjective après chaque situation avec des effets linéaire ($\beta = .48$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = .31$, $p < .001$). Ceci pourrait expliquer les effets significatifs linéaire ($\beta = -.12$, $p < .05$) et non linéaire ($\beta = -.26$, $p < .001$) de l'interaction Tension subjective avant \times Vigilance subjective avant.

De plus, la hausse de charge de travail subjective diminuait significativement la vigilance subjective après avec un effet linéaire ($\beta = -.18$, $p < .001$) et l'augmentait avec un

effet non linéaire ($\beta = .27, p < .001$). Ainsi, cet effet négatif combiné à l'effet linéaire positif de la vigilance subjective avant chaque situation pourrait expliquer l'effet linéaire significatif de l'interaction Charge de travail subjective \times Vigilance subjective avant ($\beta = .13, p < .05$).

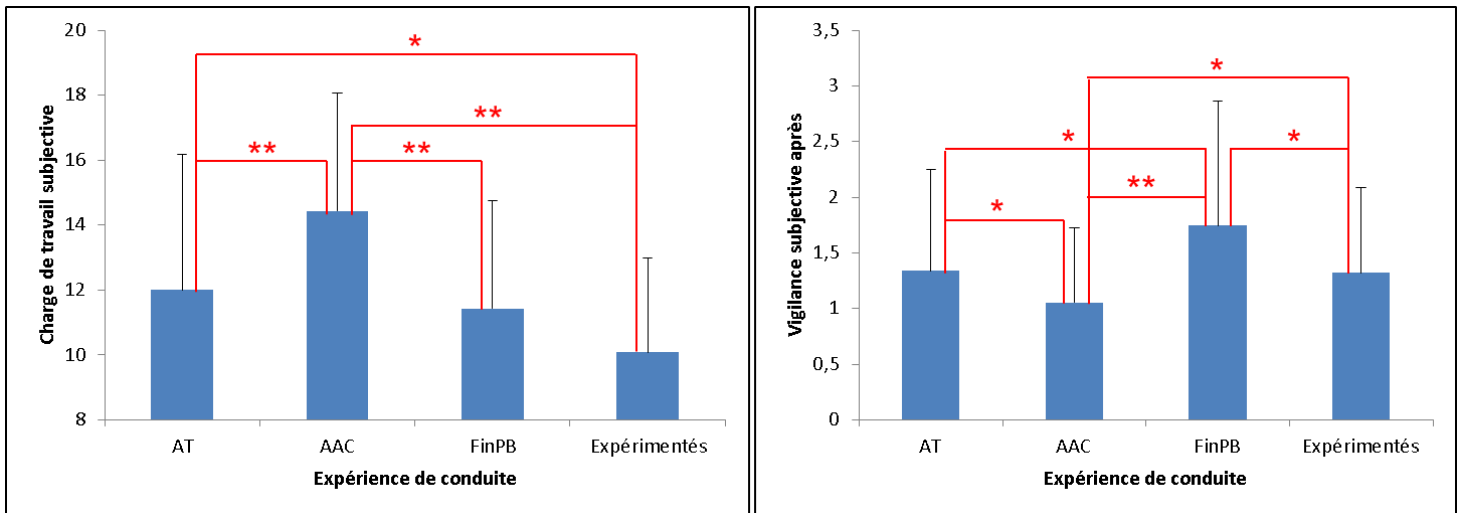
➤ *Effets d'interaction significatifs*

D'autres effets d'interactions ont été notés. L'interaction Expérience \times Situation avait des effets linéaire ($\beta = .15, p < .001$) et non linéaire significatifs ($\beta = .16, p < .05$). Pour les Expérimentés, les scores de vigilance subjective étaient plus élevés après la situation très complexe qu'après les situations moyennement complexe et simple (voir Tableau 30). Aucune autre différence entre les situations n'était observée pour les autres groupes.

Tableau 30. Vigilance subjective pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, <i>M (SD)</i>	Moyenne, <i>M (SD)</i>	Très complexe, <i>M (SD)</i>
AT	1.43 (1.00)	1.27 (.87)	1.32 (.88)
AAC	1.02 (.66)	.98 (.59)	1.16 (.78)
FinPB	1.42 (.88)	1.87 (1.28)	1.93 (1.13)
Expérimentés	1.02 (.45)	1.16 (.74)	1.77 (.84)

L'interaction Expérience \times Charge de travail subjective avait des effets linéaire ($\beta = .09, p < .05$) et non linéaire ($\beta = -.28, p < .001$) significatifs. La charge de travail subjective était plus élevée pour les AAC ($M = 14.43, SD = 3.63$) que pour les AT ($M = 12.00, SD = 4.18$), FinPB ($M = 11.42, SD = 3.34$) et Expérimentés ($M = 10.08, SD = 2.91$). À l'inverse, la vigilance subjective après chaque situation était plus faible pour les AAC ($M = 1.05, SD = .67$) que pour les AT ($M = 1.34, SD = .91$), FinPB ($M = 1.74, SD = 1.12$) et Expérimentés ($M = 1.32, SD = .76$). De plus, elle était également plus faible pour les AT et Expérimentés que pour les FinPB (voir Figure 43).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 43. Charge de travail subjective (à gauche) et Vigilance subjective après chaque situation (à droite) en fonction de l'expérience de conduite.

Dernièrement, l'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.15$, $p < .01$). La vigilance subjective avant chaque situation ne variait pas entre les situations simple ($M = 1.61$, $SD = .92$), moyennement complexe ($M = 1.69$, $SD = 1.00$) et très complexe ($M = 1.63$, $SD = 1.05$). Quant aux scores de vigilance après chaque situation, ils étaient plus faibles après la situation simple ($M = 1.23$, $SD = .79$) qu'après la situation très complexe ($M = 1.57$, $SD = .96$). Aucune différence n'était observée entre la situation moyennement complexe ($M = 1.34$, $SD = .97$) et les deux autres.

Résumé

VIGILANCE SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (VSap)	
Facteurs entraînant une hausse de VSap	Facteurs entraînant une baisse de VSap
↑ Vigilance subjective avant	↑ Complexité de la situation (en « Moyenne » et en très complexe) => ↑ Charge de travail subjective
	↑ Expérience de conduite (pour les novices AT et AAC) => ↑ Charge de travail subjective
↑ Tension subjective avant (non linéaire)	↑ Tension subjective avant (linéaire)
↑ Charge de travail subjective (non linéaire)	↑ Charge de travail subjective (linéaire)
<i>Pour les Expérimentés :</i> VSap en situation très complexe > VSap en situations simple et moyennement complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur la vigilance subjective après chaque situation, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons ont été réalisées.

3.3.4 Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs des stratégies d'évitement des piétons était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur les stratégies, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 44).

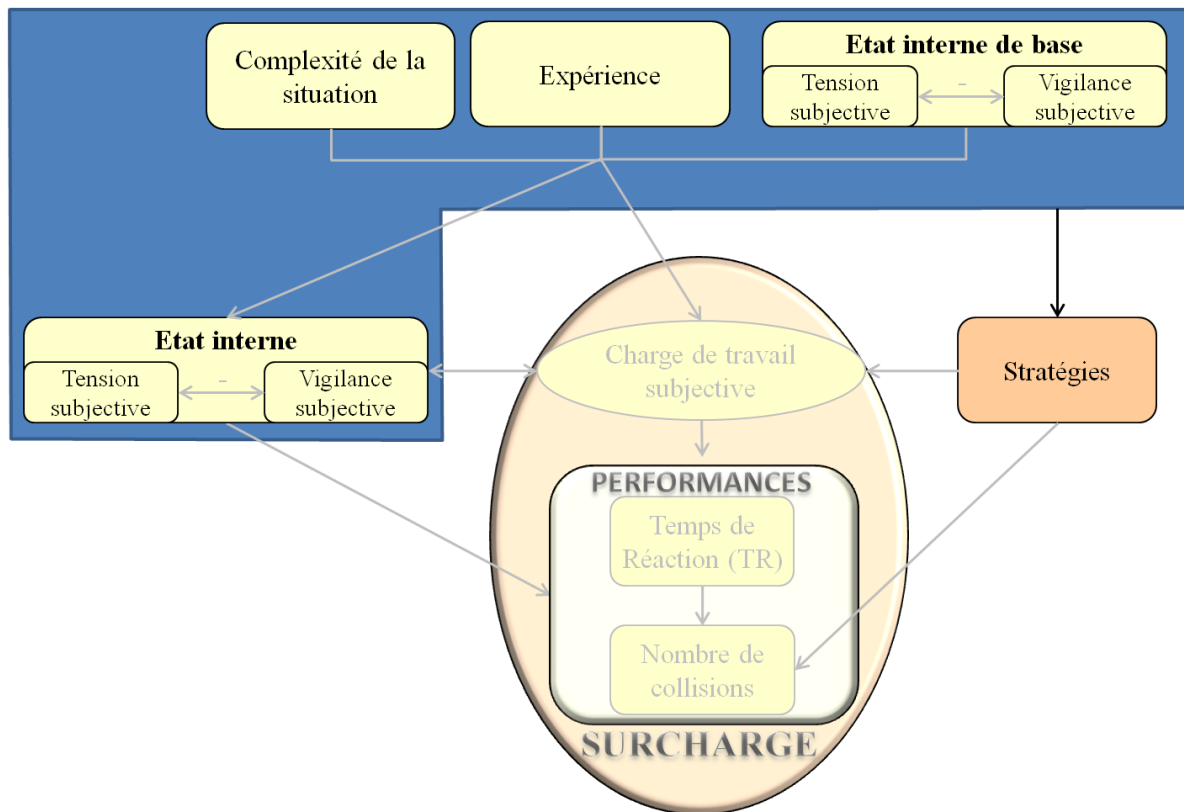


Figure 44. Prédicteurs des stratégies d'évitement des piétons.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun test de Sobel n'a été réalisé dans la mesure où aucun effet indirect n'était à tester.

Analyse de régression polynomiale

Les stratégies des participants étaient donc soumises à la régression polynomiale 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation). Dans ce modèle, les prédicteurs expliquaient 9% de la variance (voir Tableau 31).

Tableau 31. Prédicteurs des stratégies, TR et du nombre de collisions.

Variables indépendantes	Variables dépendantes	Stratégies		Temps de Réaction (TR)		Nombre de collisions	
		β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Expérience (Exp)		-.06	.02	-.05	.03		
Situation (Sit)		-.13 *	.12	.03	-.05		
Tension subjective avant (TSav)		-.25 *	-.07	-.22 *	.06	-.07	-.40 **
Vigilance subjective avant (VSav)		-.05	-.21 **	-.14	.20	-.04	-.05
Tension subjective après (TSap)		-.13	.27	-.00	.68 *	-.17	.46 **
Vigilance subjective après (VSap)		.01	.02	-.21 *	.44 **		
Stratégies (Strat)						.06	-.04
Interaction Exp * Sit		.05	-.12	-.15	.13 *	-.08	-.28 **
Interaction Exp * TSav		-.01	.22	.02	.07	.09	.17
Interaction Exp * VSav		.01	.24	-.01	.03	-.16 *	.19 *
Interaction Exp * TSap		.08	.27 **	.05	-.37 **	.02	-.03
Interaction Exp * VSap		-.10	-.15	-.06	-.10	-.10	.01
Interaction Exp * Strat						.04	.01
Interaction Sit * TSav		.16	.04	-.21	.28 *	-.18	.29
Interaction Sit * VSav		-.10	.05	.12	-.10	.12	.01
Interaction Sit * TSap		-.15	-.06	.19	-.32 *	.05	-.15
Interaction Sit * VSap		.17	-.08	-.12 *	.14	-.11	-.12
Interaction Sit * Strat						-.19 **	.31 **
Interaction TSav * VSav		-.13 *	.36 **	-.18	-.26 *	-.16	.25 *
Interaction TSav * TSap		-.29	-.54 **	.63	-.29	.42	-.36
Interaction TSav * Strat						.07	.06
Interaction VSav * VSap		.07	.03	-.10	-.36 **	.27	-.08
Interaction VSav * Strat						-.22 *	-.41 **
Interaction TSap * VSap		-.13	.24 *	.05	.04	.02	-.22 *
Interaction TSap * Strat						-.16	-.38
Interaction VSap * Strat						.22 *	.42 **
Charge de travail subjective (CTS)				.07	-.01	.09	.06
Interaction Exp * CTS				.12 *	-.05	-.22 **	-.11
Interaction Sit * CTS				-.19	.16	-.01	.07
Interaction TSav * CTS				-.02	-.13	.21	-.26
Interaction VSav * CTS				.04	.20 *	.12	-.10
Interaction TSap * CTS				.14	.01	.04	.15
Interaction VSap * CTS				.05	.05	-.10	-.16 *
Interaction Strat * CTS						.04	.19 *
Temps de Réaction (TR)						.14 *	-.36
Interaction Exp * TR						-.12	.09
Interaction Sit * TR						-.06	-.06
Interaction TSav * TR						-.10	.29
Interaction VSav * TR						.01	.12
Interaction TSap * TR						.01	-.15
Interaction VSap * TR						.27 **	-.15
Interaction Strat * TR						.08	.10
Interaction CTS * TR						.00	.05

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

Un effet linéaire simple principal significatif de la complexité de la situation ($\beta = -.13$, $p < .01$) révélait que les conducteurs avaient respectivement 0,34 fois moins de chance de freiner que d'anticiper et 0,35 fois moins de chance de faire une combinaison plutôt qu'une anticipation en situation simple qu'en situation moyennement complexe ($OR = .34$, 95% CI [.12, .93], $p < .05$; $OR = .35$, 95% CI [.13, .92], $p < .05$). Aucune autre différence n'a été observée entre les stratégies en fonction des situations (voir Tableau 32).

Tableau 32. Effet de la situation sur les stratégies.

Stratégies	Simple - Moyenne		Simple - Très complexe		Moyenne - Très complexe	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Freinage et écart	1.44	.67, 3.10	1.71	.81, 3.61	1.18	.56, 2.50
Freinage et combinaison	1.03	.54, .98	1.55	.81, 2.97	1.50	.81, 2.78
Freinage et anticipation	.34*	.12, .93	2.05	.84, 4.97	.69	.24, 1.95
Ecart et combinaison	.72	.36, 1.43	.91	.45, 1.85	1.27	.62, 2.60
Ecart et anticipation	2.05	.72, 5.86	1.20	.47, 3.04	.58	.19, 1.76
Combinaison et anticipation	.35*	.13, .92	1.32	.56, 3.10	.46	.17, 1.27

Note: * $p < .05$; ** $p < .001$

La tension subjective avant chaque situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.25$, $p < .05$). Ainsi, avec la hausse de tension, les conducteurs avaient 0,90 fois plus de chance de faire une combinaison plutôt que de freiner ($OR = .90$, 95% CI [.83, .98], $p < .05$). Aucune différence n'était observée entre le freinage et l'écart ($OR = .94$, 95% CI [.85, 1.02], *n.s.*), le freinage et l'anticipation ($OR = .96$, 95% CI [.86, 1.08], *n.s.*), l'écart et la combinaison ($OR = .98$, 95% CI [.89, 1.08], *n.s.*), l'écart et l'anticipation ($OR = 1.03$, 95% CI [.92, 1.14], *n.s.*), et la combinaison et l'anticipation ($OR = 1.06$, 95% CI [.94, 1.20], *n.s.*).

La vigilance subjective avant chaque situation avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.21$, $p < .001$). Ainsi, avec la hausse de vigilance, les conducteurs avaient 0,46 fois plus de chance d'anticiper plutôt que de freiner ($OR = .46$, 95% CI [.26, .82], $p < .01$), et 0,45 fois plus de chance de faire une combinaison plutôt qu'une anticipation ($OR = .45$, 95% CI [.27, .75], $p < .01$). Aucune différence n'était observée entre le freinage et l'écart ($OR = .83$, 95% CI [.61, 1.14], *n.s.*), le freinage et la combinaison ($OR = 1.06$, 95% CI [.81, 1.37], *n.s.*), l'écart et la combinaison ($OR = 1.28$, 95% CI [.95, 1.72], *n.s.*), et l'écart et l'anticipation ($OR = .67$, 95% CI [.41, 1.08], *n.s.*). Ces derniers résultats pourraient expliquer les effets linéaire ($\beta = -.13$, $p < .05$) et non linéaire significatifs ($\beta = .36$, $p < .001$) de l'interaction tension subjective avant \times vigilance subjective avant.

➤ *Effets d'interaction significatifs*

Plusieurs autres effets d'interaction ont été révélés. L'interaction Expérience × Tension subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .27, p < .001$). L'influence de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies dépendait de l'expérience. Pour les AAC, la hausse de tension augmentait la chance de faire un écart plutôt que de faire une combinaison. Pour les Expérimentés, la hausse de tension augmentait la chance de freiner plutôt que de faire un écart. Aucune différence entre les stratégies n'était observée pour les autres groupes (voir tableau 33).

Tableau 33. Effet de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies.

Stratégies	AT		AAC		FinPB		Expérimentés	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Freinage et écart	.63	.35, 1.13	1.15	.99, 1.34	.72	.43, 1.55	.71*	.51, .98
Freinage et combinaison	.91	.80, 1.03	.89	.73, 1.09	.98	.78, 1.23	1.26	.99, 1.61
Freinage et anticipation	1.04	.91, 1.19	.81	.54, 1.23	.77	.36, 1.64	1.16	.75, 1.80
Ecart et combinaison	1.62	.93, 2.84	.82*	.70, .96	.81	.61, 1.15	1.26	.99, 1.61
Ecart et anticipation	1.52	.88, 2.64	.81	.60, 1.09	.86	.73, 1.26	1.51	1.00, 2.28
Combinaison et anticipation	1.15	.99, 1.33	.93	.64, 1.35	.87	.53, 1.44	1.07	.81, 1.43

Note: * $p < .05$; ** $p < .001$

L'interaction Tension subjective après × Vigilance subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .24, p < .01$). Cependant, aucun de ces deux facteurs n'augmentait la chance d'adopter une stratégie plutôt qu'une autre. Avec la hausse de vigilance subjective après chaque situation, aucune différence n'était observée entre le freinage et l'écart ($OR = .96, 95\% \text{ CI } [.69, 1.32], n.s$), le freinage et la combinaison ($OR = .97, 95\% \text{ CI } [.72, 1.30], n.s$), le freinage et l'anticipation ($OR = .77, 95\% \text{ CI } [.46, 1.27], n.s$), l'écart et la combinaison ($OR = 1.02, 95\% \text{ CI } [.75, 1.37], n.s$), l'écart et l'anticipation ($OR = .87, 95\% \text{ CI } [.57, 1.33], n.s$), et la combinaison et l'anticipation ($OR = .81, 95\% \text{ CI } [.52, 1.28], n.s$). L'absence de significativité des tests post-hoc pour cette interaction pourrait s'expliquer par l'effet non linéaire significatif de l'interaction Expérience × Tension subjective après (précédemment citée).

L'interaction Tension subjective avant × Tension subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.54, p < .001$). Comme vu précédemment, la hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait la chance de faire une combinaison plutôt que de freiner, tandis que la hausse de tension subjective après chaque situation n'augmentait pas la chance d'adopter une stratégie plutôt qu'une autre (entre freinage et écart ($OR = .96, 95\% \text{ CI } [.87, 1.05], n.s$), freinage et combinaison ($OR = .94, 95\% \text{ CI } [.87, 1.02], n.s$), freinage et

anticipation ($OR = 1.02$, 95% CI [.92, 1.13], *n.s.*), écart et combinaison ($OR = 1.00$, 95% CI [.91, 1.09], *n.s.*), écart et anticipation ($OR = 1.05$, 95% CI [.95, 1.16], *n.s.*), et combinaison et anticipation ($OR = 1.08$, 95% CI [.97, 1.19], *n.s.*).

Résumé

STRATEGIES D'ÉVITEMENT DES 2^e ET 3^e PIÉTONS (Strat)
<i>En situation simple par rapport à la situation moyennement complexe :</i> Probabilité « Anticipation » > Probabilité « Frein » et « Combinaison »
↑ Tension subjective avant => Probabilité « Combinaison » > Probabilité « Frein »
↑ Vigilance subjective avant => Probabilité « Anticipation » > Probabilité « Frein » ET => Probabilité « Combinaison » > Probabilité « Anticipation »
<i>Pour les novices AAC :</i> ↑ Tension subjective après => Probabilité « Ecart » > Probabilité « Combinaison »
<i>Pour les Expérimentés :</i> ↑ Tension subjective après => Probabilité « Frein » > Probabilité « Ecart »

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons, des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur les Temps de Réaction (TR en sec.) ont été réalisées.

3.3.5 Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs des Temps de Réaction (TR) était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur les TR, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 45).

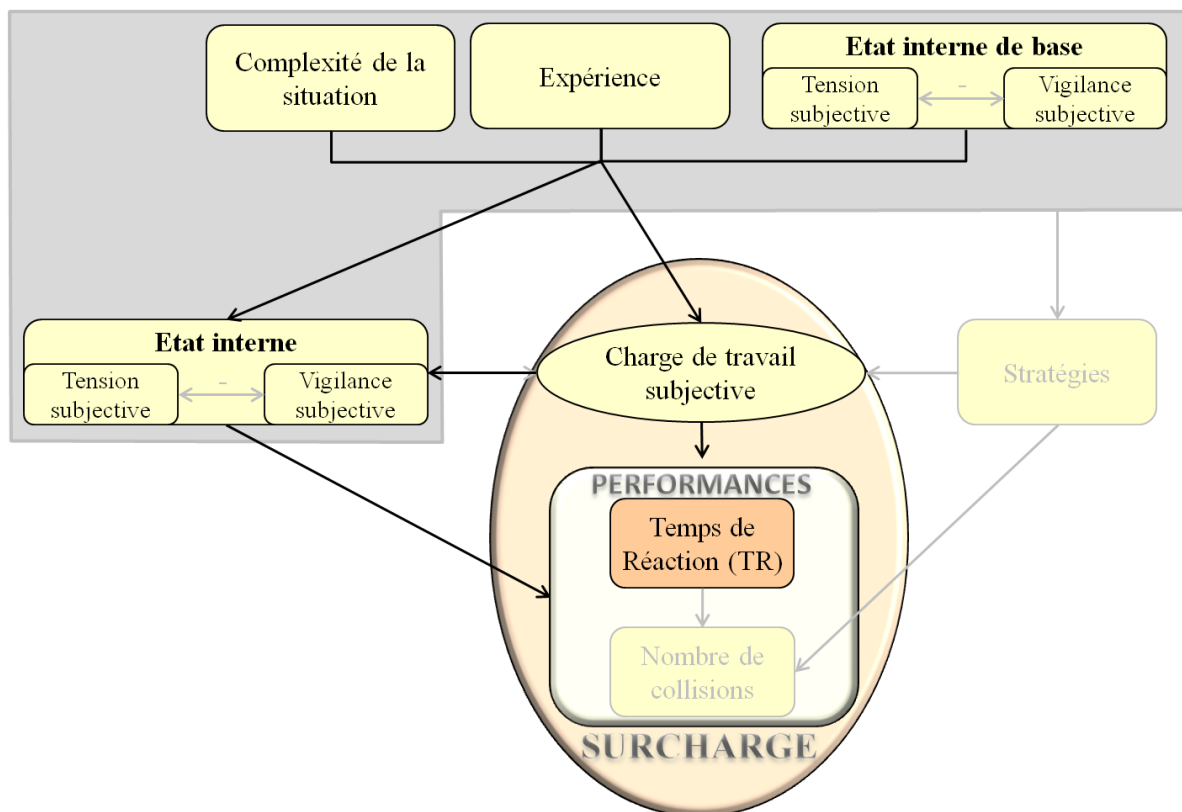


Figure 45. Prédicteurs des Temps de Réaction (TR en sec.).

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel n'a révélé aucun effet médiateur (voir Tableau 34).

Tableau 34. Scores z des effets indirects sur les Temps de Réaction *via* la charge de travail subjective et les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Vigilance subjective après	Via Tension subjective après
Expérience (Exp)	1.50	-.85	.63
Situation (Sit)	-.99	-1.20	-.36
Vigilance subjective avant (VSav)	-.71	-.18	.61
Tension subjective avant (TSav)	-.63	1.38	.99
Vigilance subjective après (VSap)	1.06		
Tension subjective après (TSap)	-.78		
Charge de travail subjective (CTS)		1.25	-.21
Interaction Exp * Sit	-.33	-1.00	-.18
Interaction Exp * TSav	.74	-.68	-.17
Interaction Exp * VSav	-.79	-.52	-.25
Interaction Exp * TSap	.28		
Interaction Exp * VSap	-.72		
Interaction Exp * CTS		-1.42	.23
Interaction Sit * TSav	-.87	.87	-.35
Interaction Sit * VSav	.47	-1.18	.23
Interaction Sit * TSap	.36		
Interaction Sit * VSap	.82		
Interaction Sit * CTS		.87	.23
Interaction TSav * VSav	-.54	1.20	.45
Interaction TSap * VSap	-.51		
Interaction TSav * CTS		-.08	-.26
Interaction VSav * CTS		-1.09	-.24

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens des TR étaient donc soumis à la régression polynomiale 4 (Expérience) \times 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Charge de travail subjective). Dans ce modèle, les prédicteurs expliquaient 13% de la variance (voir Tableau 31).

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de tension subjective avant chaque situation raccourcissait les TR avec un effet linéaire significatif ($\beta = -.22, p < .05$).

La hausse de tension subjective après chaque situation rallongeait les TR avec un effet non linéaire significatif ($\beta = .68, p < .05$).

La hausse de vigilance subjective après chaque situation raccourcissait les TR avec un effet linéaire ($\beta = -.21, p < .05$) et les rallongeait avec un effet non linéaire ($\beta = .44, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction significatifs*

Plusieurs effets d'interaction ont été notés. L'interaction Expérience \times Situation avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .13, p < .05$). Pour les AT, les TR étaient plus courts en situation moyennement complexe qu'en situations simple et très complexe, tandis que pour les autres groupes, aucune différence n'était observée entre les situations (voir Tableau 35).

Tableau 35. TR pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, $M (SD)$	Moyenne, $M (SD)$	Très complexe, $M (SD)$
AT	.77 (.28)	.62 (.18)	.82 (.28)
AAC	.84 (.27)	.87 (.41)	.99 (.37)
FinPB	.65 (.24)	.61 (.24)	.60 (.21)
Expérimentés	.69 (.28)	.73 (.35)	.69 (.28)

L'interaction Expérience \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = .12, p < .05$). Pour les AAC et FinPB, la hausse de charge de travail subjective raccourcissait les TR (respectivement $\beta = -.34, p < .01$; $\beta = -.22, p < .05$), tandis que pour les AT et Expérimentés, aucun effet n'était observé (respectivement $\beta = -.21, n.s$; $\beta = .07, n.s$).

L'interaction Expérience \times Tension subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.37, p < .001$). Pour les AT, la hausse de tension raccourcissait les TR ($\beta = -.28, p < .05$) alors qu'aucun effet n'était remarqué pour les AAC ($\beta = .03, n.s$), FinPB ($\beta = -.06, n.s$) et Expérimentés ($\beta = -.14, n.s$).

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .28, p < .05$). Cependant, ni la tension subjective ni les TR ne variaient entre les situations simple ($M = 7.07, SD = 3.18$; $M = .73, SD = .27$), moyennement complexe ($M = 7.12, SD = 3.61$; $M = .70, SD = .31$), et très complexe ($M = 6.75, SD = 3.02$; $M = .76, SD = .31$).

L'interaction Situation \times Tension subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.32, p < .05$). La tension subjective était plus faible en situation simple ($M = 6.54, SD = 2.84$) qu'en situation très complexe ($M = 7.42, SD = 3.80$). Aucune différence ne s'observait entre la situation moyennement complexe ($M = 7.02, SD = 3.48$) et les deux autres situations. Concernant les TR, aucune variation n'était observée entre les situations simple ($M = .73, SD = .27$), moyennement complexe ($M = .70, SD = .31$) et très complexe ($M = .76, SD = .31$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.12, p < .05$). La hausse de vigilance subjective raccourcissait les TR en situation simple ($\beta = -.25, p < .05$) et n'avait aucun effet sur les TR en situations moyennement complexe ($\beta = -.06, n.s$) et très complexe ($\beta = -.05, n.s$).

L'interaction Tension subjective avant \times Vigilance subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.26, p < .05$). La hausse de tension subjective raccourcissait les TR ($\beta = -.22, p < .05$) tandis que la hausse de vigilance subjective n'avait pas d'effet sur les TR ($\beta = -.14, n.s$).

L'interaction Vigilance subjective avant \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .20, p < .05$). Cependant, ni la vigilance subjective ($\beta = .20, n.s$) ni la charge de travail subjective ($\beta = -.01, n.s$) n'avait d'effet non linéaire sur les TR. Ceci pourrait être dû à l'effet d'interaction Expérience \times Charge de travail subjective, impliquant une modulation des résultats en fonction des groupes.

Dernièrement, l'interaction Vigilance subjective avant \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.36, p < .001$). La vigilance subjective avant chaque situation n'avait pas d'effet sur les TR ($\beta = -.14, n.s$) alors qu'après chaque situation, son augmentation raccourcissait les TR avec un effet linéaire ($\beta = -.21, p < .05$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

Les analyses de régression simple identifiant l'effet de la charge de travail subjective sur les TR à la fois en fonction de l'expérience et de la situation ont révélé plusieurs effets significatifs. Contrairement aux attentes, la hausse de la charge raccourcissait les TR en situation moyennement complexe pour les AT ($\beta = -.56, p < .01$) et en situation très complexe pour les AAC ($\beta = -.65, p < .01$). Aucun autre effet significatif n'a été noté dans les autres conditions (voir Tableau 36).

Tableau 36. Effet de la charge de travail subjective sur les TR pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, β	Moyenne, B	Très complexe, β
AT	-.13	-.56 *	-.20
AAC	-.10	-.28	-.65 *
FinPB	-.15	-.35	-.21
Expérimentés	-.02	-.12	.08

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Résumé

TEMPS DE REACTION (TR)	
Facteurs entraînant un allongement des TR	Facteurs entraînant un raccourcissement des TR
↑ Tension subjective après	↑ Tension subjective avant
↑ Vigilance subjective après (non linéaire)	↑ Vigilance subjective après (linéaire)
	Pour les novices AT : ↑ Tension subjective après
	Pour les AAC et FinPB : ↑ Charge de travail subjective
	En situation simple : ↑ Vigilance subjective après
	Pour les novices AT, en situation moyennement complexe : ↑ Charge de travail subjective
	Pour les novices AAC, en situation très complexe : ↑ Charge de travail subjective
Pour les novices AT : TR en situations simple et très complexe > TR en situation moyennement complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur les Temps de Réaction (TR en sec.), des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons ont été réalisées.

3.3.6 Nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs du nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur le nombre de collisions, puis avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs (voir Figure 46).

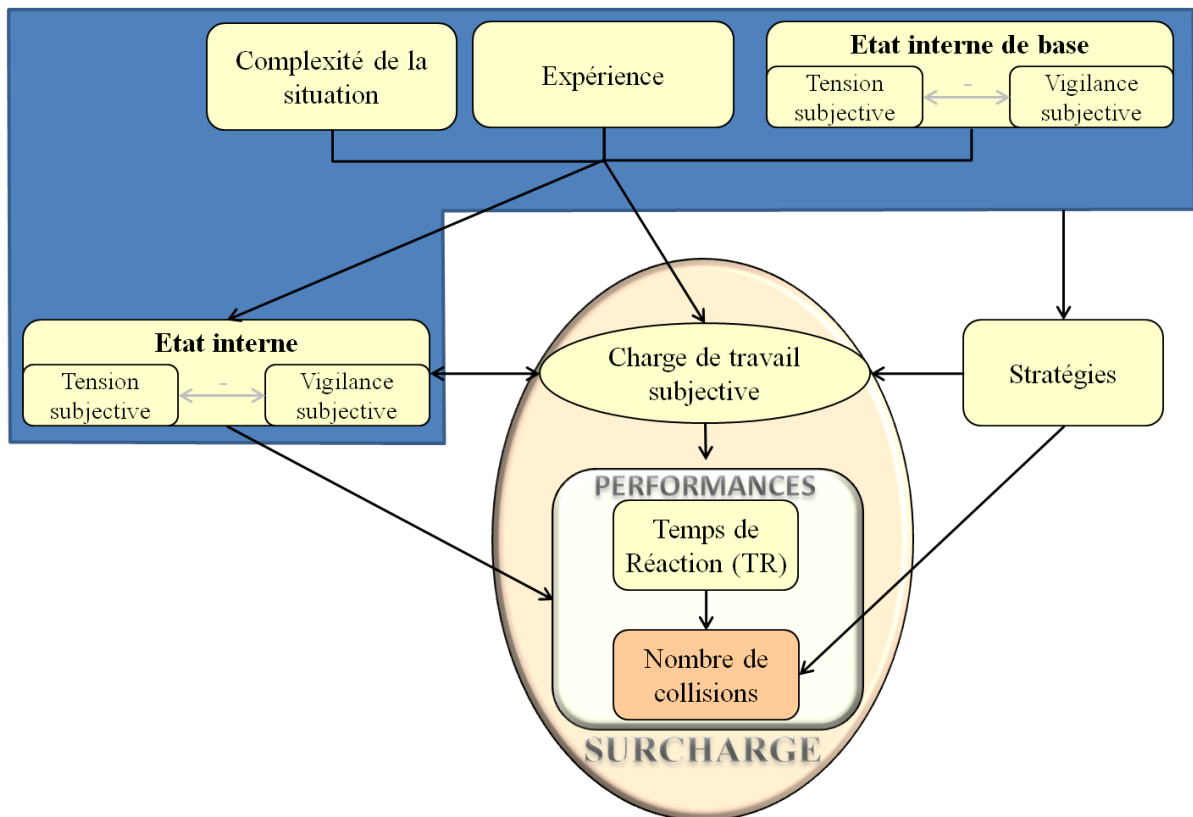


Figure 46. Prédicteurs du nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons.

Test de Sobel : effets indirects

Le test de Sobel a révélé que la charge de travail subjective était médiatrice des effets de la situation ($z = 2.13, p < .05$), de l'expérience ($z = -2.71, p < .01$) et de la vigilance subjective après chaque situation ($z = -2.21, p < .05$) sur le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons.

La hausse de la complexité de la situation augmentait la charge de travail subjective ($\beta = .15, p < .01$), avec des scores plus faibles en situation simple ($M = 11.01, SD = 3.94$) qu'en moyennement complexe ($M = 12.12, SD = 3.60$) et très complexe ($M = 12.44, SD = 3.83$). A son tour, la hausse de charge augmentait le nombre de collisions ($\beta = .17, p < .01$).

Le manque d'expérience augmentait la charge ($\beta = -.25, p < .001$), qui à son tour augmentait le nombre de collisions ($\beta = .18, p < .01$).

La hausse de vigilance entraînait une diminution de la charge ($\beta = -.15, p < .01$), qui permettait à son tour diminuait le nombre de collisions ($\beta = .20, p < .001$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect significatif sur le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons (voir Tableau 37).

Tableau 37. Scores z des effets indirects sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective, les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation, les stratégies et les Temps de Réaction.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Vigilance subjective après	Via Tension subjective après	Via Stratégies	Via Temps de Réaction
Expérience (Exp)	-2.71 *	.60	-1.10	.51	-.52
Situation (Sit)	2.13 *	.07	.98	1.41	.51
Vigilance subjective avant (VSav)	1.25	.60	-.39	1.10	-.76
Tension subjective avant (TSav)	.86	-.60	1.85	1.46	-.71
Vigilance subjective après (VSap)	-2.21 *			.67	-.70
Tension subjective après (TSap)	1.38			.40	-.26
Charge de travail subjective (CTS)		-1.02	.93		-.71
Interaction Exp * Sit	.36	.69	.29	-.68	-.60
Interaction Exp * TSav	-1.25	.45	-1.64	-1.09	.67
Interaction Exp * VSav	1.84	.43	.86	-.01	-.57
Interaction Exp * TSap	-.29			-.43	.61
Interaction Exp * VSap	1.12			-.01	-.65
Interaction Exp * CTS		.96	-.30		.85
Interaction Sit * TSav	1.58	-.47	1.35	-1.38	.55
Interaction Sit * VSav	-.54	.52	-.70	.39	.66
Interaction Sit * TSap	-.39			.01	.50
Interaction Sit * VSap	-1.19			-1.36	-.79
Interaction Sit * CTS		-.54	-.36		-.49
Interaction TSav * VSav	.68	-.58	-1.54	1.07	-.57
Interaction TSap * VSap	.62			1.71	-.65
Interaction TSav * CTS		.08	.56		-.56
Interaction VSav * CTS		.45	.56		-.08
Interaction TSap * CTS					.06
Interaction VSap * CTS					-.71

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Analyse de régression polynomiale

La moyenne du nombre de collisions était donc soumise à la régression polynomiale 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Tension subjective après situation) \times 4 (Stratégies) \times 1 (TR). Dans ce modèle, les prédicteurs expliquaient 26% de la variance (voir Tableau 31).

➤ Effets simples principaux significatifs

Un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait une diminution du nombre de collisions (effet non linéaire : $\beta = -.40, p < .001$).

A l'inverse, un niveau élevé de vigilance subjective avant chaque situation provoquait une hausse du nombre de collisions (effet non linéaire : $\beta = .46, p < .001$).

L'allongement des TR augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .14, p < .05$).

➤ Effets d'interaction significatifs

Plusieurs effets d'interaction ont été observés. L'interaction Expérience \times Situation avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.28, p < .001$). Pour les novices AT, le nombre de collisions était supérieur en situation très complexe qu'en situation simple tandis qu'aucune différence entre les situations n'était observée pour les autres groupes (voir Tableau 38).

Tableau 38. Nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.

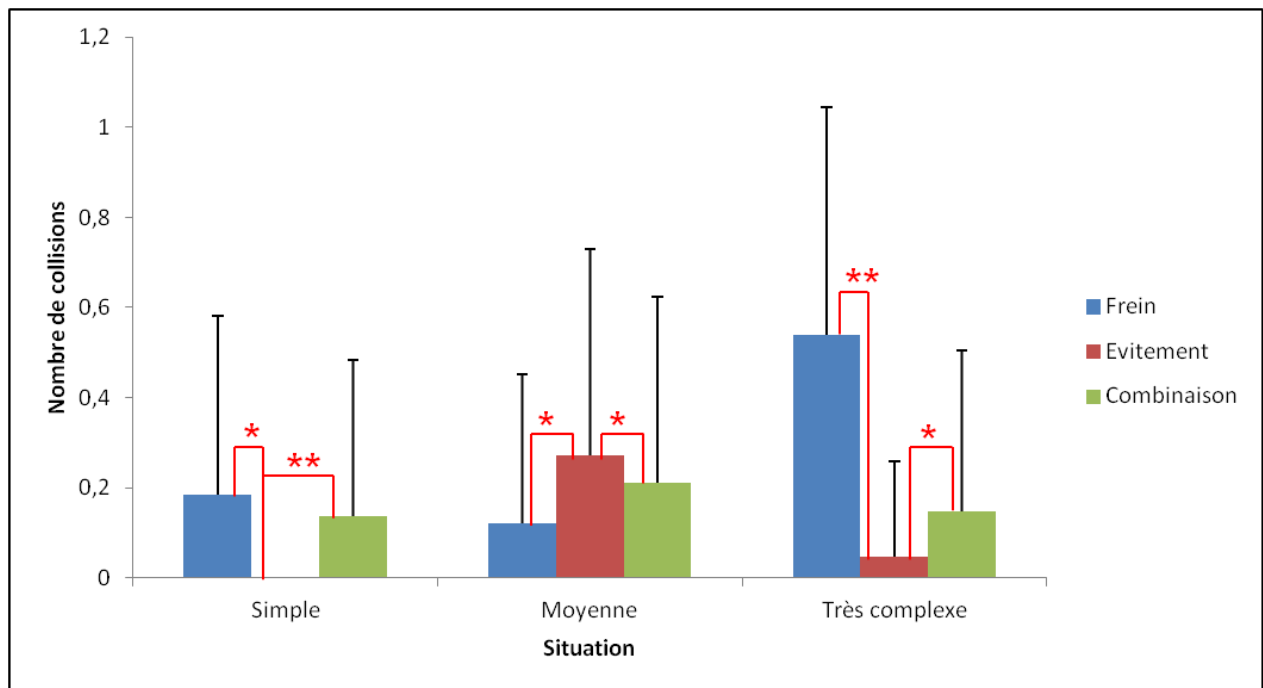
Expérience de conduite	Simple, <i>M (SD)</i>	Moyenne, <i>M (SD)</i>	Très complexe, <i>M (SD)</i>
AT	0.07 (0.25)	0.17 (0.38)	0.33 (0.48)
AAC	0.25 (0.44)	0.25 (0.44)	0.37 (0.49)
FinPB	0.07 (0.25)	0.17 (0.38)	0.23 (0.43)
Expérimentés	0.03 (0.18)	0.20 (0.41)	0.13 (0.35)

L'interaction Expérience \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.22, p < .001$). Pour les AAC, la hausse de charge de travail subjective augmentait le nombre de collisions ($\beta = .30, p < .05$), tandis que pour les AT, FinPB et Expérimentés, aucun effet n'était observé (respectivement $\beta = .05, n.s.$; $\beta = .12, n.s.$; $\beta = -.08, n.s.$).

L'interaction Expérience \times Vigilance avant chaque situation avait des effets linéaire ($\beta = -.16, p < .01$) et non linéaire ($\beta = .19, p < .05$) significatifs. Pour les AT, la hausse de vigilance augmentait le nombre de collisions ($\beta = .37, p < .01$) tandis que pour les AAC ($\beta =$

.20, *n.s.*), les FinPB ($\beta = -.13$, *n.s.*) et les Expérimentés ($\beta = -.13$, *n.s.*), aucun effet n'était observé.

L'interaction Situation \times Stratégies avait des effets linéaire ($\beta = -.19$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = .31$, $p < .001$) significatifs. En situations simple et très complexe, le nombre de collisions était plus faible lorsqu'ils faisaient un écart (respectivement : $M = 0$, $SD = 0$; $M = 0.04$, $SD = 0.21$) que lorsqu'ils freinaient (respectivement : $M = 0.18$, $SD = 0.40$; $M = 0.54$, $SD = 0.50$) ou faisaient une combinaison (respectivement : $M = 0.14$, $SD = 0.35$; $M = 0.15$, $SD = 0.36$). En situation moyennement complexe, l'inverse se produisait avec davantage de collisions lorsqu'ils faisaient un écart ($M = 0.27$, $SD = 0.46$) que lorsqu'ils freinaient ($M = 0.12$, $SD = 0.33$) ou faisaient une combinaison ($M = 0.21$, $SD = 0.41$) (voir Figure 47).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 47. Nombre de collisions dans chaque situation et pour chaque stratégie.

L'interaction Stratégies \times Vigilance subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = -.22$, $p < .05$) et non linéaire ($\beta = -.41$, $p < .001$) significatifs. Le nombre de collisions était plus élevée avec la stratégie de freinage ($M = 0.30$, $SD = 0.46$) qu'avec l'écart ($M = 0.10$, $SD = 0.30$) et la combinaison ($M = 0.17$, $SD = 0.37$). Les scores de vigilance avant chaque situation ne variaient pas en fonction des stratégies de freinage ($M = 1.71$, $SD = 1.01$), d'écart ($M = 1.53$, $SD = 1.06$) et de combinaison ($M = 1.77$, $SD = 0.98$).

L'interaction Stratégies \times Vigilance subjective après chaque situation avait également des effets linéaire ($\beta = .22, p < .01$) et non linéaire ($\beta = .42, p < .001$) significatifs. Comme vu au-dessus, le nombre de collisions était élevé avec la stratégie de freinage qu'avec l'écart et la combinaison. De plus, les scores de vigilance subjective après chaque situation ne variaient pas entre les stratégies de freinage ($M = 1.42, SD = 0.88$), d'écart ($M = 1.37, SD = 1.10$) et de combinaison ($M = 1.39, SD = 0.90$).

L'interaction Stratégies \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .19, p < .01$). Pour la stratégie de freinage, la hausse de la charge augmentait le nombre de collisions ($\beta = .33, p < .001$) tandis qu'aucun effet n'était observé pour l'écart ($\beta = -.04, n.s$) et la combinaison ($\beta = .18, n.s$).

L'interaction Vigilance subjective après chaque situation \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.16, p < .01$). La hausse de la charge augmentait le nombre de collisions ($\beta = .19, p < .001$) tandis qu'aucun effet direct de la vigilance subjective après chaque situation n'était observé sur le nombre de collisions ($\beta = .03, n.s$).

L'interaction Tension subjective avant \times Vigilance subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .25, p < .01$). La hausse de la tension diminuait le nombre de collisions (effet non linéaire : $\beta = -.40, p < .001$) tandis qu'aucun effet de la vigilance n'était observé (effet non linéaire : $\beta = -.05, n.s$).

Enfin, l'interaction Tension subjective après \times Vigilance subjective après avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.22, p < .01$). La hausse de la tension subjective après chaque situation augmentait le nombre de collisions ($\beta = .46, p < .001$) tandis que la vigilance subjective n'avait aucun effet sur le nombre de collisions ($\beta = .03, n.s$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

Les analyses de régression simple identifiant l'effet de la charge de travail subjective sur le nombre de collisions à la fois en fonction de l'expérience et de la situation ont révélé un effet significatif. Pour les AAC, la hausse de la charge conduisait à une augmentation du nombre de collisions en situation très complexe ($\beta = .55, p < .01$). Aucun autre effet significatif n'a été observé (voir Tableau 39).

Tableau 39. Effet de la charge de travail subjective sur le nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, β	Moyenne, B	Très complexe, B
AT	.13	.19	.35
AAC	.39	-.20	.55 *
FinPB	.06	-.10	.16
Expérimentés	-.04	-.22	-.16

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Résumé

NOMBRE DE COLLISIONS AVEC LES 2 ^e ET 3 ^e PIETONS (Col)	
Facteurs entraînant une hausse de Col	Facteurs entraînant une baisse de Col
↑ Complexité de la situation (en « Moyenne » et très complexe) => ↑ Charge de travail subjective	↑ Vigilance subjective après => ↓ Charge de travail subjective
↓ Expérience de conduite => ↑ Charge de travail subjective	↑ Tension subjective avant
↑ TR	
Pour les novices AT : ↑ Vigilance subjective avant	
Pour les novices AAC, en situation très complexe : ↑ Charge de travail subjective = SURCHARGE	
Avec la stratégie « Frein » : ↑ Charge de travail subjective	
Pour les novices AT : Col en situation très complexe > Col en situation simple	
En situations simple et très complexe : Col avec « Frein » et « Combinaison » > Col avec « Ecart »	
En situation moyennement complexe : Col avec « Ecart » > Col avec « Frein » et « Combinaison »	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

Après avoir effectué des analyses qui identifient les variables ayant un effet sur le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons, des analyses qui identifient le niveau interne d'activation ont été réalisées au moyen d'une corrélation entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance, avant et après chaque situation.

3.4. Etat interne d'activation : corrélation entre tension et vigilance subjectives

Pour chaque groupe, des corrélations de r Bravais-Pearson ont été réalisées entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance avant et après chaque situation (voir Figure 48).

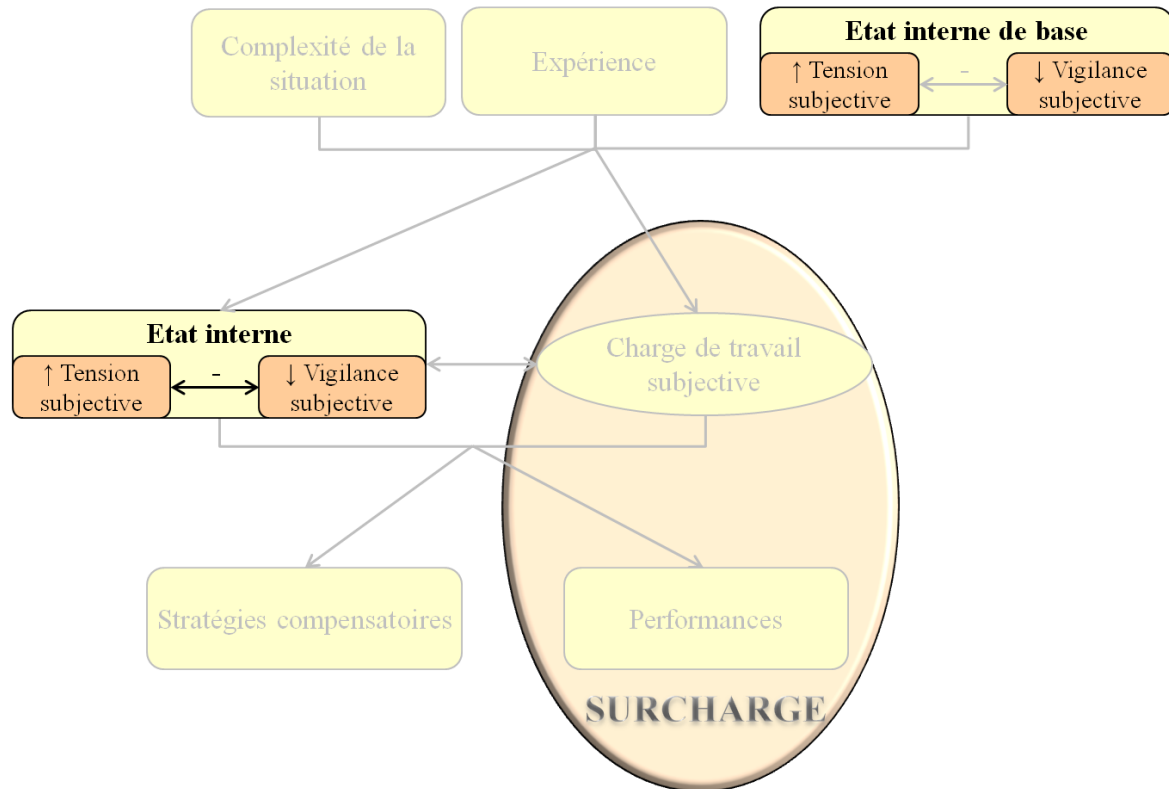


Figure 48. Corrélations entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance.

Avant chaque situation, uniquement les AAC avaient un niveau d'activation élevé avec une tension élevée significativement corrélée à une vigilance faible ($r = -.33, p < .05$). Aucune corrélation n'apparaissait pour les AT ($r = -.05, n.s$), FinPB ($r = .06, n.s$) et Expérimentés ($r = -.18, n.s$).

Après chaque situation, aucune corrélation n'était significative pour les AT ($r = -.12, n.s$), AAC ($r = -.27, n.s$), FinPB ($r = -.14, n.s$) et Expérimentés ($r = -.05, n.s$).

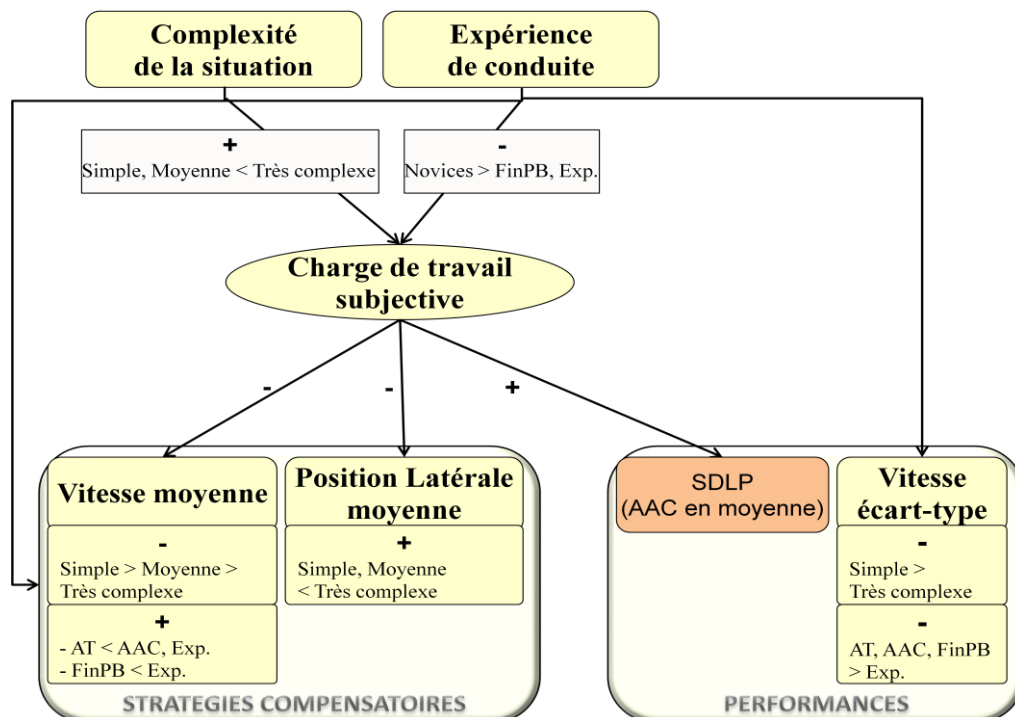
4. Discussion

4.1. Portions sans piétons

Durant les portions sans piétons, l'hypothèse était qu'en situations simple et très complexe, la hausse de charge de travail subjective devait entraîner une dégradation des performances en fonction du niveau d'expérience des conducteurs. L'objectif de l'étude était ainsi d'identifier le niveau d'expérience à partir duquel une surcharge (hausse de la charge de travail subjective et dégradation des performances) apparaissait. De plus, l'auto-évaluation de l'état interne des conducteurs (tension et vigilance subjectives) devait moduler ces effets.

4.1.1 Surcharge en fonction de la situation et de l'expérience

L'ensemble des résultats concernant d'une part les effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail subjective et d'autre part les effets de la situation, de l'expérience et de la charge de travail subjective sur les performances de conduite et sur les stratégies compensatoires ont permis d'identifier les facteurs de surcharge en fonction des stratégies compensatoires efficaces (voir Figure 49).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 49. Surcharge de travail subjective et stratégies compensatoires en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.

Impacts sur la charge de travail subjective

La charge de travail subjective était plus élevée en situation très complexe que dans les deux autres situations pour l'ensemble des novices par rapport aux deux autres groupes (voir Figure 49). Ces résultats suggèrent que la situation était perçue comme très coûteuse uniquement lorsqu'elle était très complexe, et particulièrement pour les novices. Trois années d'expérience de conduite étaient ainsi suffisantes pour percevoir la tâche comme étant faiblement demandeuse en termes d'effort. Le type d'apprentissage de la conduite (traditionnel ou anticipé) n'influait donc pas la charge de travail perçue et l'expérience supplémentaire acquise par les AAC ne permettait donc pas d'abaisser le niveau de charge perçue. À partir de ce constat, nous pouvons nous demander si les performances de conduite étaient davantage impactées en situation très complexe, et particulièrement pour les novices.

Impacts sur les performances de conduite

La charge de travail subjective n'avait aucun effet sur le contrôle de la vitesse. Cependant, la complexité de la situation et l'expérience de conduite avaient un effet direct sur l'écart-type de la vitesse, qui était plus élevée en situation simple qu'en situation très complexe, et également plus élevée pour les conducteurs novices et les fin de permis probatoire que pour les conducteurs expérimentés (voir Figure 49). Les mauvaises performances concernant le contrôle de la vitesse en situation simple pourraient s'expliquer par la monotonie de la tâche qui entraînait probablement des moments de baisse de vigilance accompagnés d'accélération dus à l'ennui et au relâchement du tonus musculaire faisant appuyer le pied sur la pédale d'accélération, suivis de moments de hausse de vigilance accompagnés de ralentissements afin de revenir à la vitesse maximale autorisée. Par ailleurs, l'amélioration du contrôle de la vitesse s'effectuait seulement à partir de cinq années d'expérience. Une habitude aux longues routes monotones serait donc nécessaire pour contrôler sa vitesse.

Concernant les SDLP, contrairement à nos attentes, la hausse de la charge de travail subjective altérait uniquement les performances de conduite des novices ayant suivi un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC) en situation moyennement complexe, avec une perte du contrôle de la position latérale sur la voie (hausse des SDLP) (voir Figure 49). Ceci pouvait ainsi révéler une surcharge de travail pour ce groupe en situation moyennement complexe. La variabilité de la position latérale constitue en effet un indicateur de la difficulté

à maintenir une position constante sur la chaussée en fonction de la géométrie de la route (Rosey & Auberlet, 2012), et révélait donc que cette situation leur était difficile. Nous pouvons donc nous demander pourquoi le haut niveau de charge de travail subjective observé pour les novices en situation très complexe ne dégradait pas les performances de conduite. Plusieurs explications sont envisageables. D'une part, cela pourrait être dû à une mise en œuvre de stratégies compensatoires efficaces pour tous en situation très complexe, pour les AT dans toutes les situations, et inefficaces pour les AAC en situation moyennement complexe. D'autre part, cela pourrait être plutôt dû à une surconfiance de la part des AAC, les amenant à sous-estimer la difficulté de la complexité de la situation.

Nous pouvons donc nous demander si des stratégies compensatoires étaient adoptées en fonction du niveau de charge de travail subjective, de la situation et du groupe, et si ces stratégies s'avéraient efficaces pour maintenir de bonnes performances.

4.1.2 Stratégies compensatoires : vitesse moyenne et position latérale moyenne

Effet de la charge de travail subjective

Plusieurs stratégies compensatoires étaient adoptées de manière générale, avec aucune différence en fonction du groupe et de la situation.

Comme attendu, lorsque la charge de travail subjective augmentait, les conducteurs réduisaient leur vitesse moyenne (voir Figure 49). La réduction de vitesse leur permettait donc probablement d'avoir davantage de temps pour traiter l'ensemble des éléments de la situation nécessaires pour effectuer correctement la tâche, comme l'ont démontré plusieurs études (Cnossen et al. , 2000 ; Brookhuis et al. , 1991; De Waard et al. , 1999).

Avec la hausse de charge de travail subjective, les conducteurs se positionnaient davantage à gauche sur leur voie, près du marquage central. Cette stratégie facilitait probablement la poursuite de la trajectoire, le marquage servant de repère. Ainsi, une étude a révélé que sur une voie large (situation difficile pour le guidage), les conducteurs se positionnaient proche du marquage central, tandis qu'après réduction de la voie (situation facile pour le guidage), les conducteurs se recentraient au milieu de leur voie (Rosey, Chauvin, & Moisan, 2012). Ces résultats n'étaient pas inhérents au simulateur de conduite dans la mesure où ils s'observaient

sur simulateur et *in situ*. Les deux stratégies compensatoires à la hausse de la charge de travail variaient également directement en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.

Effets de la situation et de l'expérience

Concernant la vitesse moyenne, les conducteurs réduisaient davantage leur vitesse au fur et à mesure que la complexité des situations augmentait (voir Figure 49). Cette réduction de vitesse était plus importante pour les novices AT par rapport aux novices AAC et aux Expérimentés, ainsi que pour les FinPB par rapport aux Expérimentés. En considérant que les AAC étaient surchargés en situation moyennement complexe, nous pouvons donc en déduire que pour ce groupe, cette stratégie compensatoire était uniquement efficace en situations simple et très complexe dans la mesure où ils ralentissaient suffisamment pour pouvoir maintenir de bonnes performances. En situation moyennement complexe, les AAC ne ralentissaient donc pas suffisamment pour éviter la surcharge, probablement à cause d'une sous estimation de la difficulté de la tâche et d'une surestimation de leurs capacités (biais d'optimisme d'après McKenna, 1993) due à leur expérience supplémentaire par rapport aux novices AT. Cette stratégie s'avérait efficace pour les AT qui ralentissaient davantage que les AAC, ainsi que pour les FinPB qui ralentissaient davantage que les Expérimentés. Nous pouvons donc supposer que les Expérimentés n'avaient pas besoin d'adopter cette stratégie pour éviter la surcharge, dans la mesure où de manière générale, l'ensemble des situations de conduite leur paraissaient moins coûteuses que pour les novices.

Par ailleurs, indépendamment de leur niveau de charge, les conducteurs se positionnaient davantage vers le marquage central en situations simple et moyennement complexe qu'en très complexe où ils étaient davantage vers le milieu de leur voie (voir Figure 49). Il était donc probablement plus difficile de s'aider du marquage central en le suivant de près lorsque la route était très sinueuse (en situation très complexe). En effet, cela demanderait un ajustement important de la position latérale sur la voie par rapport aux nombreux virages serrés, constituant ainsi une difficulté supplémentaire plutôt qu'une aide.

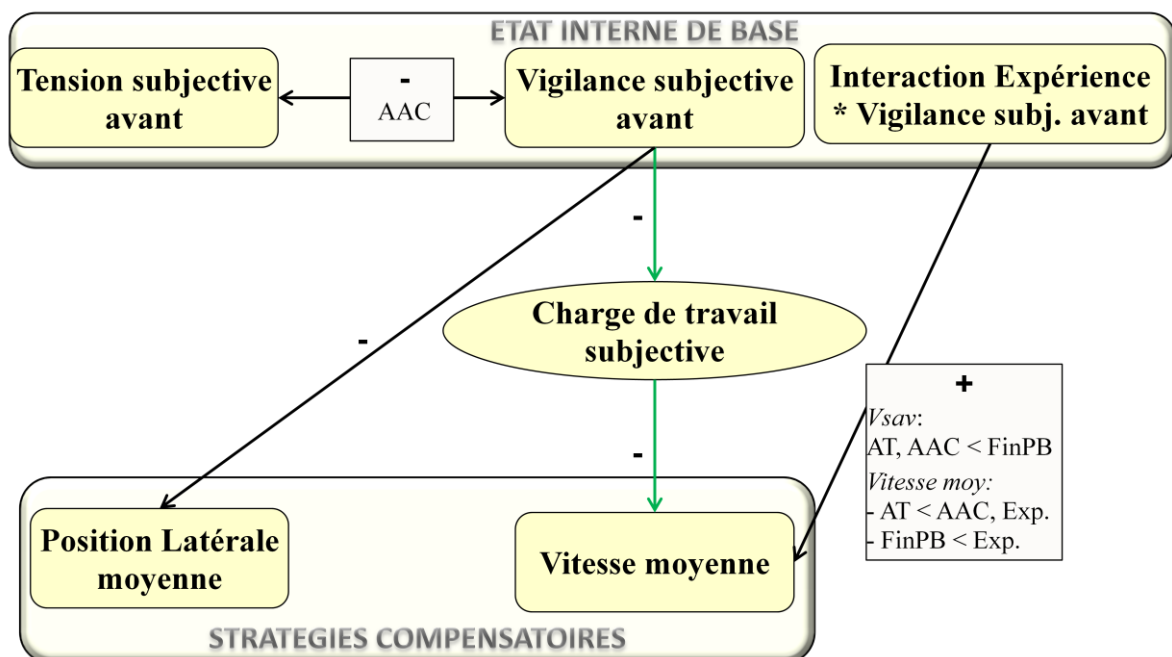
Des effets modulateurs de l'état interne d'activation pourraient alors expliquer les niveaux de charge de travail subjective et de performances de conduite en fonction de la situation et de l'expérience.

4.1.3 Etat interne d'activation: effets modulateurs sur la surcharge ?

Les résultats des effets du niveau d'activation interne avant et après chaque situation sur la charge de travail subjective, les performances de conduite et les stratégies compensatoires, ainsi que les effets de la situation et de l'expérience sur le niveau d'activation interne ont permis d'identifier si le niveau d'activation interne modulait la surcharge de travail subjective.

Etat interne avant chaque situation

Le niveau d'activation interne avant chaque situation (corrélation entre tension et vigilance) variait en fonction de l'expérience de conduite et seule la composante « vigilance » modulait la charge de travail subjective et les stratégies compensatoires (voir Figure 50).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 50. Effets de l'état interne avant chaque situation sur la charge de travail subjective et les performances.

Avant chaque situation de conduite et quel que soit le niveau de complexité, l'état interne de base des conducteurs était différent. En effet, sur l'ensemble des portions avec et sans piétons, seuls les AAC avaient un niveau subjectif de vigilance faible compensé par un niveau subjectif de tension élevé. D'après le modèle d'activation de Thayer (1986), l'état interne de

ce groupe avant même de débiter l'activité de conduite se caractériserait par une forte dépense énergétique, les prédisposant ainsi à une surcharge plus précoce que les autres groupes.

La vigilance subjective avant chaque situation influençait les stratégies compensatoires de manière directe ou *via* la charge de travail subjective (voir Figure 50).

En effet, avec la baisse de vigilance subjective, les participants conduisaient davantage vers le milieu de leur voie. Nous pouvons donc supposer qu'un faible niveau de vigilance avant de débiter la conduite faisait relâcher l'effort que les conducteurs investissaient pour rester proche du marquage central leur servant de guidage. Aucun effet n'était observé sur les SDLP ni sur l'écart-type de vitesse.

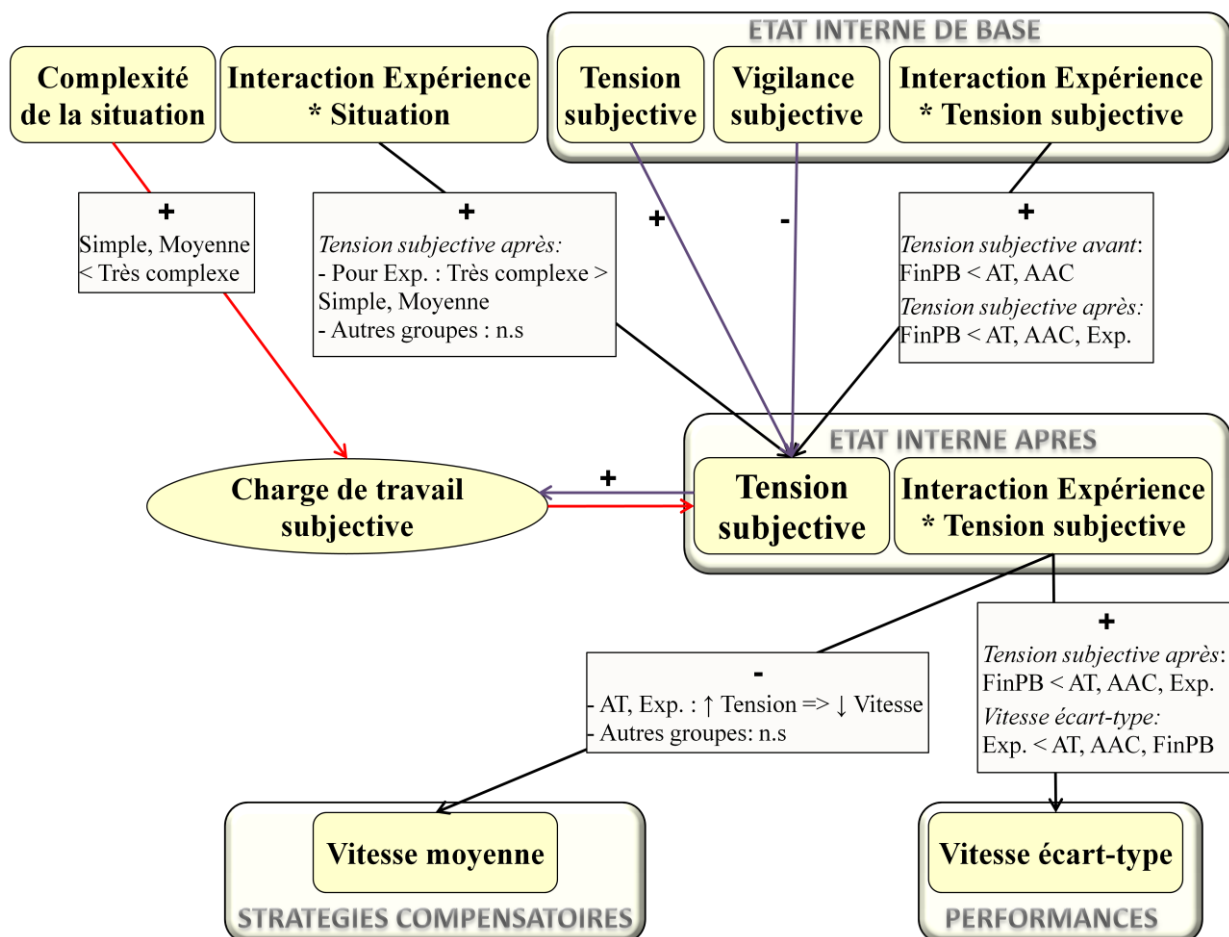
Un faible niveau de vigilance entraînait également une diminution de la vitesse moyenne *via* une augmentation de la charge de travail subjective. Cette réduction de vitesse s'observait particulièrement pour les AT qui avaient un faible niveau de vigilance. Par conséquent, la réduction de vitesse adoptée par les novices AT était principalement due à leur faible niveau de vigilance, plutôt qu'à une volonté d'instaurer une stratégie compensatoire face à la difficulté de la tâche. Ils étaient donc par défaut plus avantagés que les autres conducteurs pour correctement effectuer leur tâche de conduite en ayant davantage de temps pour traiter les éléments de la situation.

Etat interne après chaque situation

Après chaque situation, les niveaux subjectifs de tension et de vigilance n'étaient pas corrélés, et ce quel que soit le niveau d'expérience. Ainsi, une diminution de la vigilance au cours de la tâche n'avait pas été compensée par une augmentation de la tension.

➤ *Tension subjective*

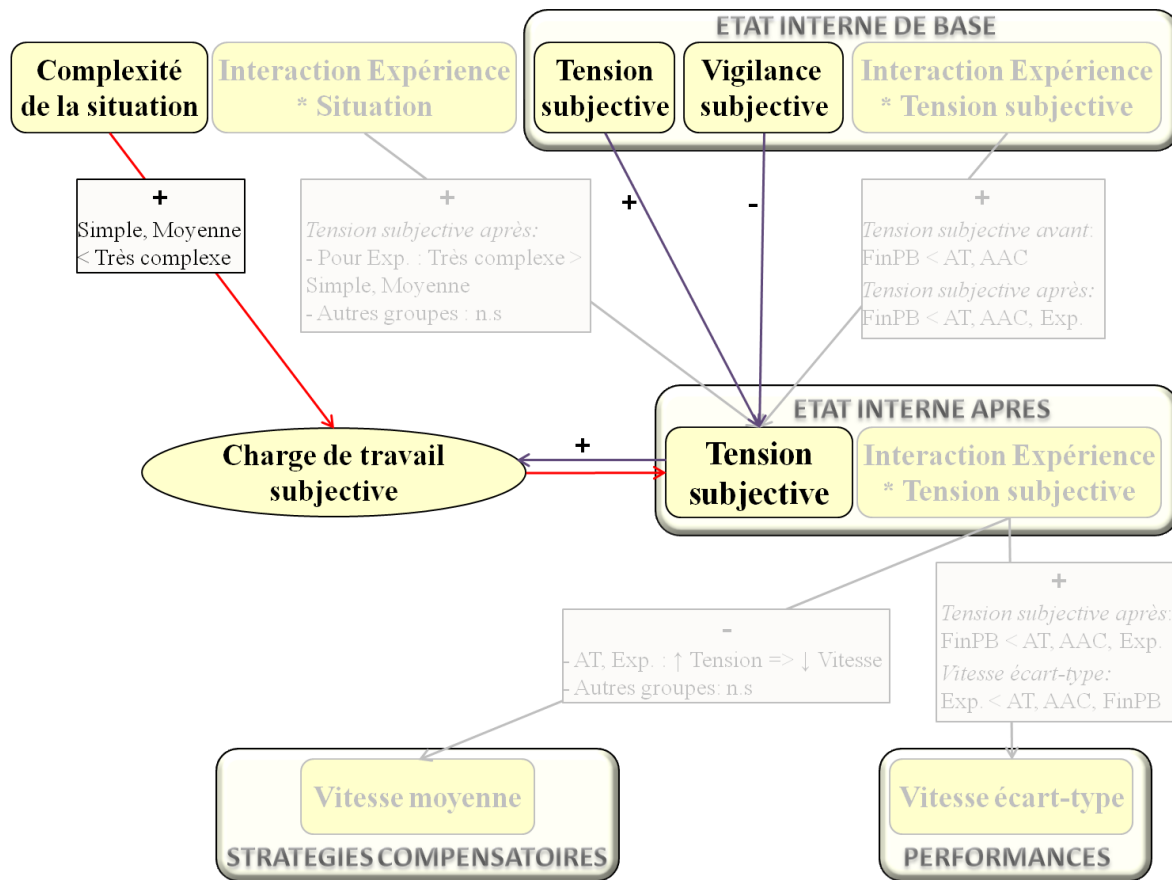
La tension subjective après chaque situation avait une relation bidirectionnelle avec la charge de travail subjective, et était également influencée par la situation, l'expérience ainsi que l'état d'activation interne avant chaque situation. Par ailleurs, elle avait une influence sur les performances de conduite et les stratégies compensatoires mises en œuvre (voir Figure 51).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 51. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la tension subjective.

Tout d'abord, nous pouvons nous centrer sur les relations entre les niveaux subjectifs de tension et de charge de travail (voir Figure 52).

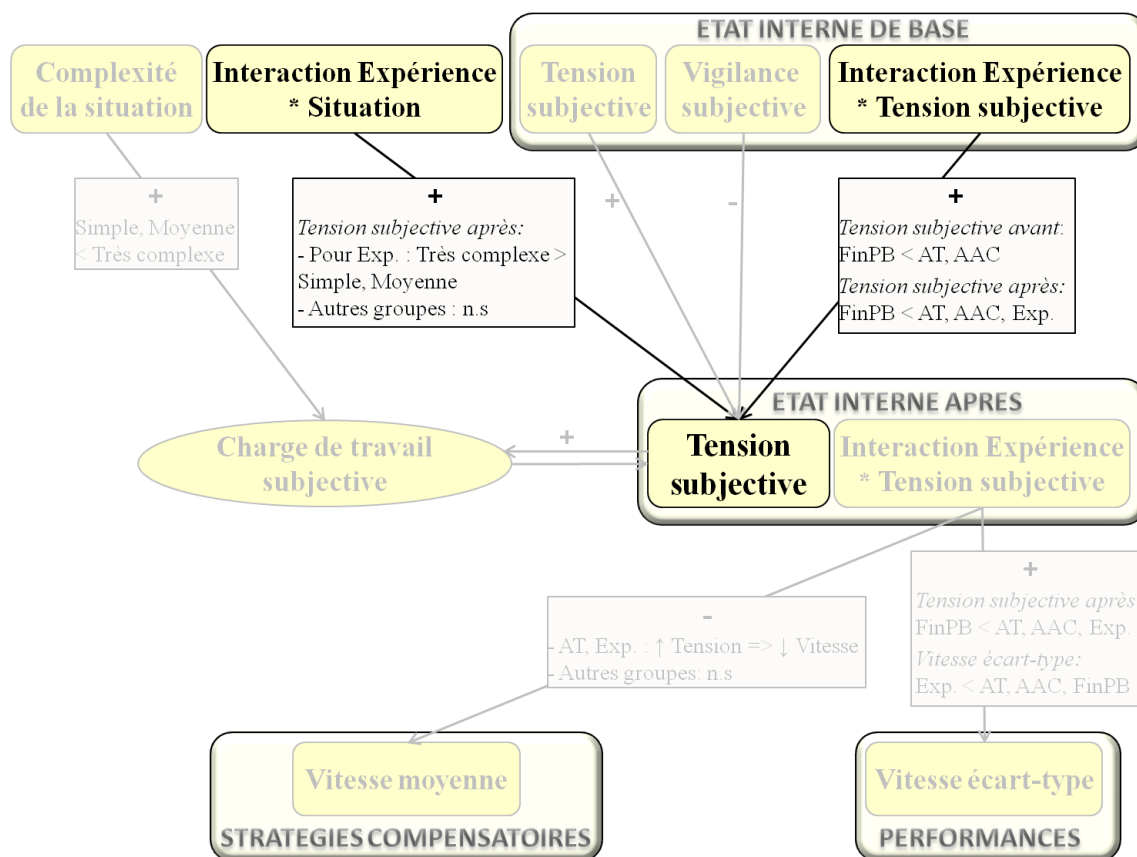


Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 52. Relations entre tension subjective après chaque situation et charge de travail subjective.

Nous observons sur la figure ci-dessus (Figure 52) que la hausse de charge induite par une situation très complexe de conduite entraînait une hausse de tension. D'un autre côté, la hausse de tension provoquée par une faible vigilance de base et une tension de base élevée, en particulier pour les novices AT et AAC (voir Figures 50 et 51), entraînait une hausse de la charge de travail subjective. Ces résultats confirment donc notre hypothèse. Ils ne révèlent aucune différence entre les deux groupes de novices. En effet, quel que soit le type d'apprentissage, ces conducteurs novices étaient davantage tendus que les conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire. L'entraînement à la conduite supplémentaire des AAC ne suffisait donc pas pour abaisser leur tension par rapport aux novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.

La situation, l'expérience et l'état d'activation interne avant chaque situation influençait la tension subjective après chaque situation (voir Figure 53).

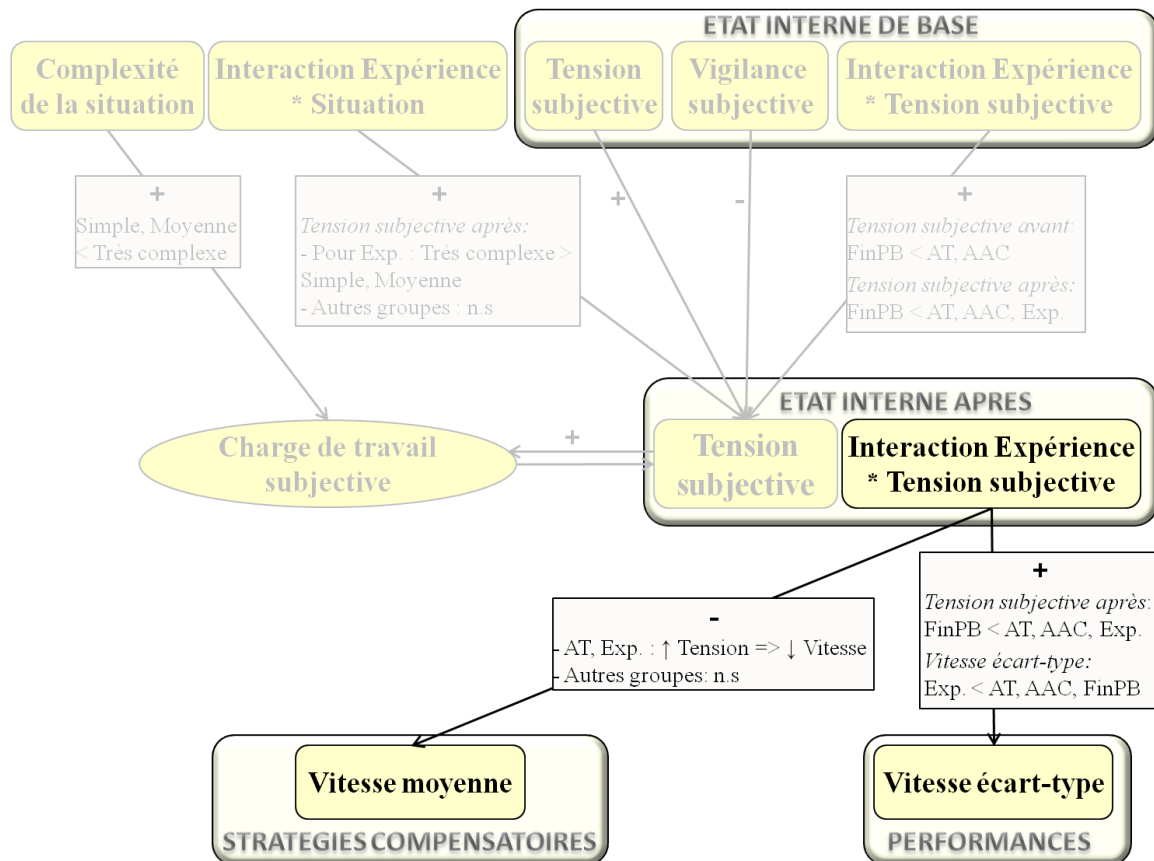


Notes : + : effet positif.

Figure 53. Effets de la situation, de l'expérience et de l'état interne de base sur la tension subjective après chaque situation.

Contrairement à nos attentes, les effets d'interaction entre l'expérience et la tension subjective de base, ainsi qu'entre l'expérience et la situation montrent respectivement que les expérimentés étaient davantage tendus que les conducteurs à la fin du permis probatoire, notamment dans la situation la plus complexe. A partir de cinq années d'expérience, ils avaient donc probablement rencontré davantage de situations dangereuses que ceux qui n'avaient que trois années d'expérience de conduite, ce qui leur a permis de développer une meilleure conscience de la situation (Underwood et al., 2002) les rendant beaucoup plus tendus avec une complexité importante de la situation.

La tension subjective après chaque situation influençait la vitesse de manière générale, en termes de performances de conduite (écart-type de vitesse) ainsi qu'en termes de stratégies compensatoires (vitesse moyenne) (voir Figure 54).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

Figure 54. Impacts de la tension subjective après chaque situation sur les performances et les stratégies compensatoires.

Les novices (AT et AAC) avaient un niveau élevé de tension ainsi qu'un mauvais contrôle de la vitesse (écart-type de vitesse élevé), bien que pour les AT la hausse de tension leur faisait réduire la vitesse moyenne (voir Figure 54). Par conséquent, la stratégie compensatoire adoptée par les AT face à la hausse de tension était inefficace puisque leurs performances de conduite étaient tout de même dégradées. Leur comportement n'étant pas encore basé sur les compétences avec une automatisation de la tâche (modèle SRK ; Rasmussen, 1984), un niveau de tension subjective élevé leur rendait la conduite plus difficile. Quant aux AAC, l'absence de mise en place de stratégies compensatoires laisse supposer qu'ils surestimaient leurs capacités puisque leurs performances étaient dégradées.

Concernant les conducteurs à la fin du permis probatoire, le fait de ne pas réduire leur vitesse face à la hausse de tension pouvait s'expliquer par un faible niveau de tension comparativement aux autres groupes. Ainsi, avec un faible niveau de tension de base, une augmentation n'était probablement pas perçue comme étant menaçante. Leurs performances en termes de contrôle de la vitesse étaient cependant moins bonnes que celles des expérimentés. La tension n'était donc probablement pas à l'origine de leurs mauvaises performances. Un manque de compétence en serait plutôt la cause dans la mesure où trois années d'expérience de conduite ne suffisaient pas pour avoir une meilleure régulation de la vitesse que les novices.

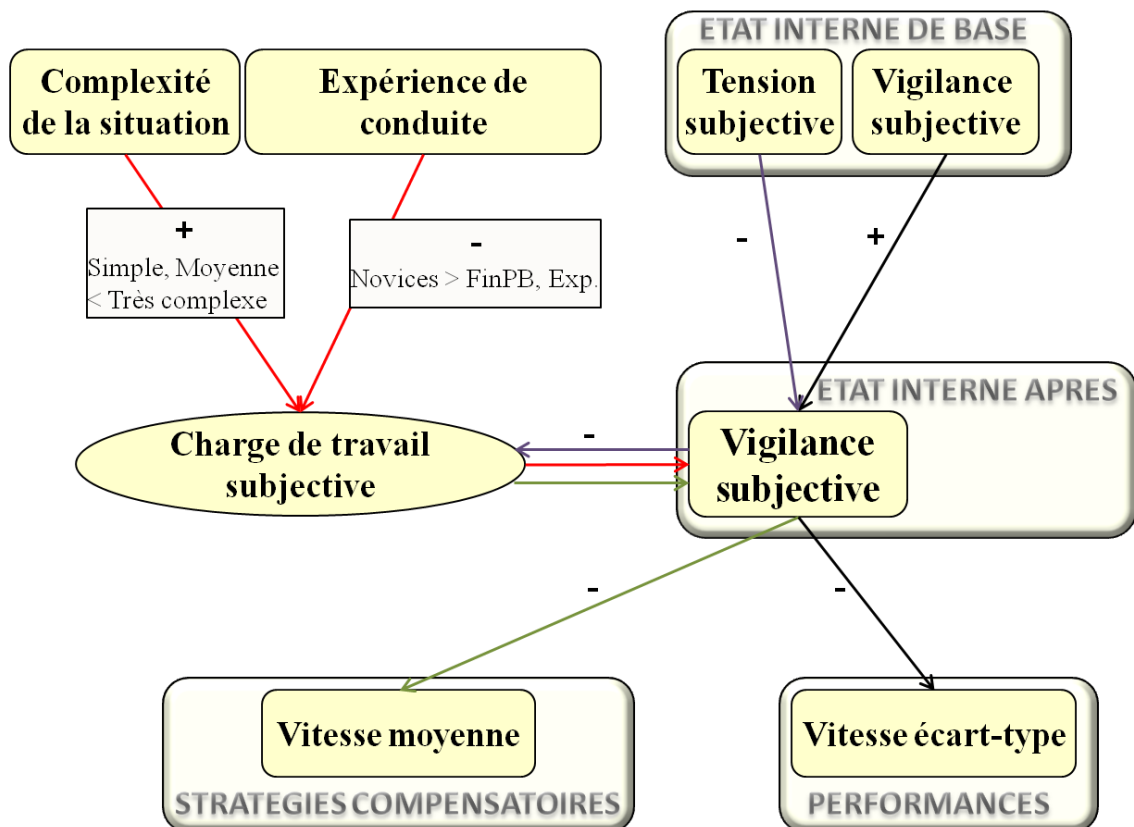
Pour finir, les expérimentés avaient un haut niveau de tension mais ils compensaient en réduisant leur vitesse face à la hausse de tension. Cette stratégie se révélait être efficace dans la mesure où eux seuls arrivaient à contrôler leur vitesse avec peu de variations. Cinq années d'expérience étaient donc nécessaires pour apprendre à faire face à une tension élevée et pour adopter un comportement adéquat pour réussir la tâche de conduite. Un haut niveau de tension était compatible avec leur comportement automatisé basé sur les compétences qui leur permettait probablement de réaliser la tâche de conduite sans que cela soit trop coûteux cognitivement (modèle SRK ; Rasmussen, 1984).

Face à la hausse de tension subjective après chaque situation, la stratégie de réduire sa vitesse n'était donc pas toujours adoptée et pas toujours efficace en fonction du niveau d'expérience :

	Stratégie compensatoire (Réduction de la vitesse)	Performances de conduite (Ecart-type de la vitesse)	Niveau de tension subjective après chaque situation	Stratégie compensatoire efficace
AT	OUI	MAUVAISES	ELEVE	NON
AAC	NON	MAUVAISES	ELEVE	
FinPB	NON	MAUVAISES	FAIBLE	
Expérimentés	OUI	BONNES	ELEVE	OUI

➤ *Vigilance subjective*

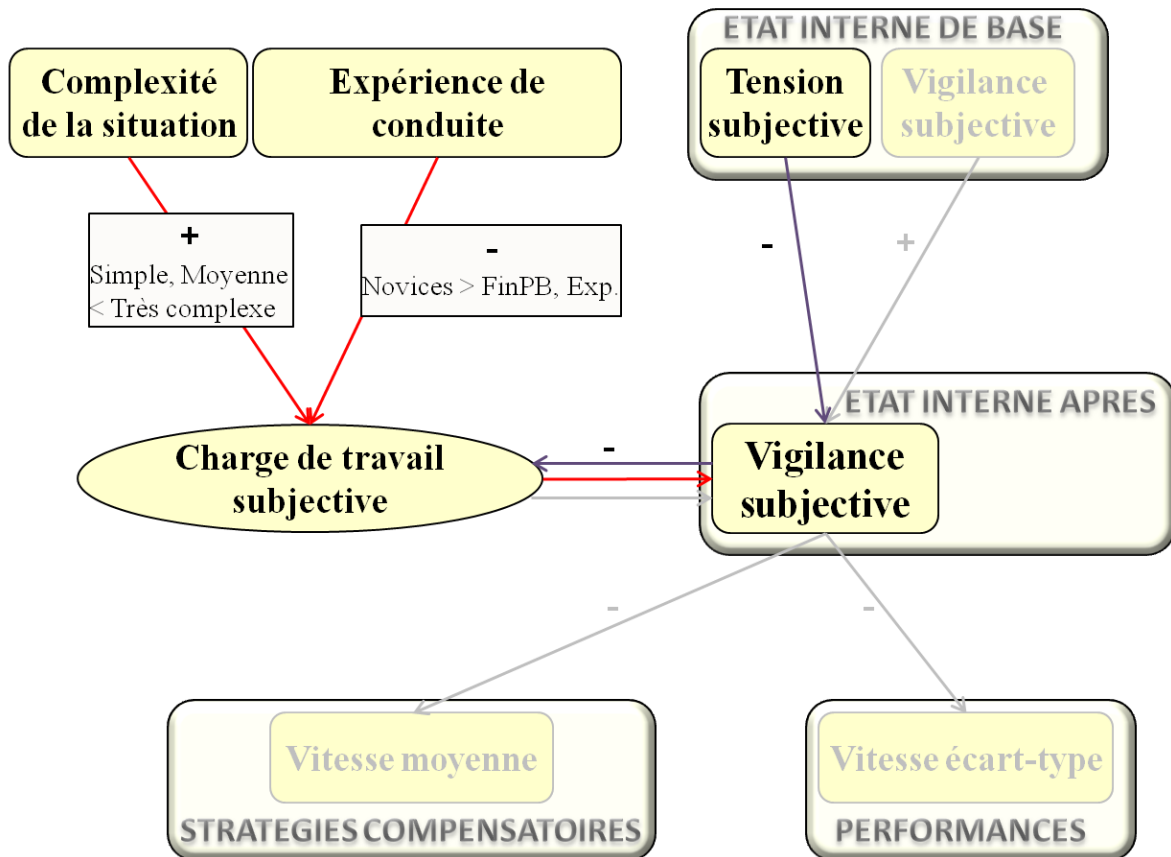
La vigilance subjective après chaque situation avait une relation bidirectionnelle avec la charge de travail subjective. De plus, elle était influencée par l'état d'activation interne avant chaque situation et influençait les performances de conduite et les stratégies compensatoires mises en œuvre (voir Figure 55).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 55. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la vigilance subjective.

Tout d'abord, nous pouvons nous centrer sur les relations entre les niveaux subjectifs de vigilance et de charge de travail (voir Figure 56).

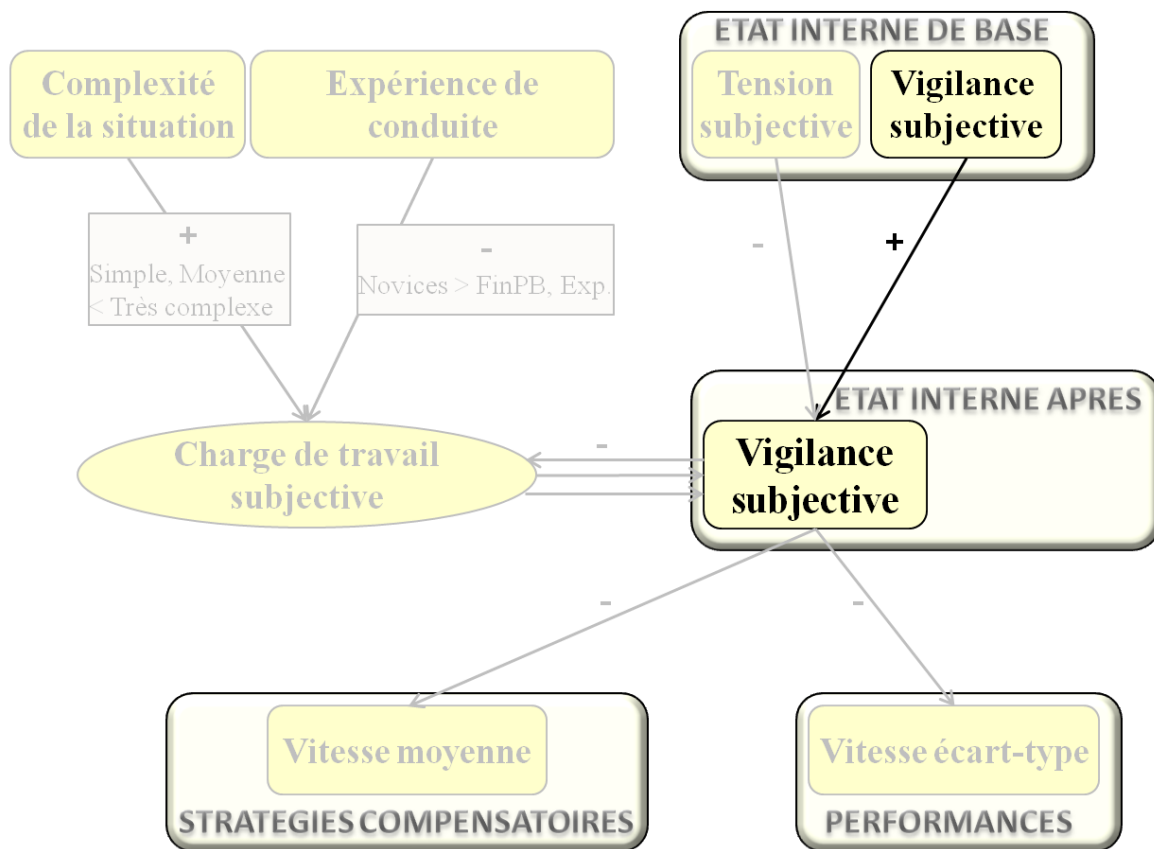


Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 56. Relations entre vigilance subjective après chaque situation et charge de travail subjective.

La hausse de la charge de travail observée en situation très complexe pour les deux groupes de novices (AT et AAC) diminuait la vigilance après chaque situation. Réciproquement, la baisse de vigilance après chaque situation provoquée par la hausse de tension avant chaque situation entraînait une hausse de la charge de travail subjective (voir Figure 56). Ces résultats confirment donc que pour des tâches difficiles et précises, la hausse de la charge diminue le niveau de vigilance (Brookhuis et al., 2003) et en état de faible vigilance, l'individu a une capacité limitée pour répondre de manière optimale à une tâche donnée (Hadj-Mabrouk et al., 2001), entraînant ainsi un haut niveau de charge de travail.

La composante « vigilance » de l'état d'activation interne avant chaque situation influençait la vigilance subjective après chaque situation (voir Figure 57).

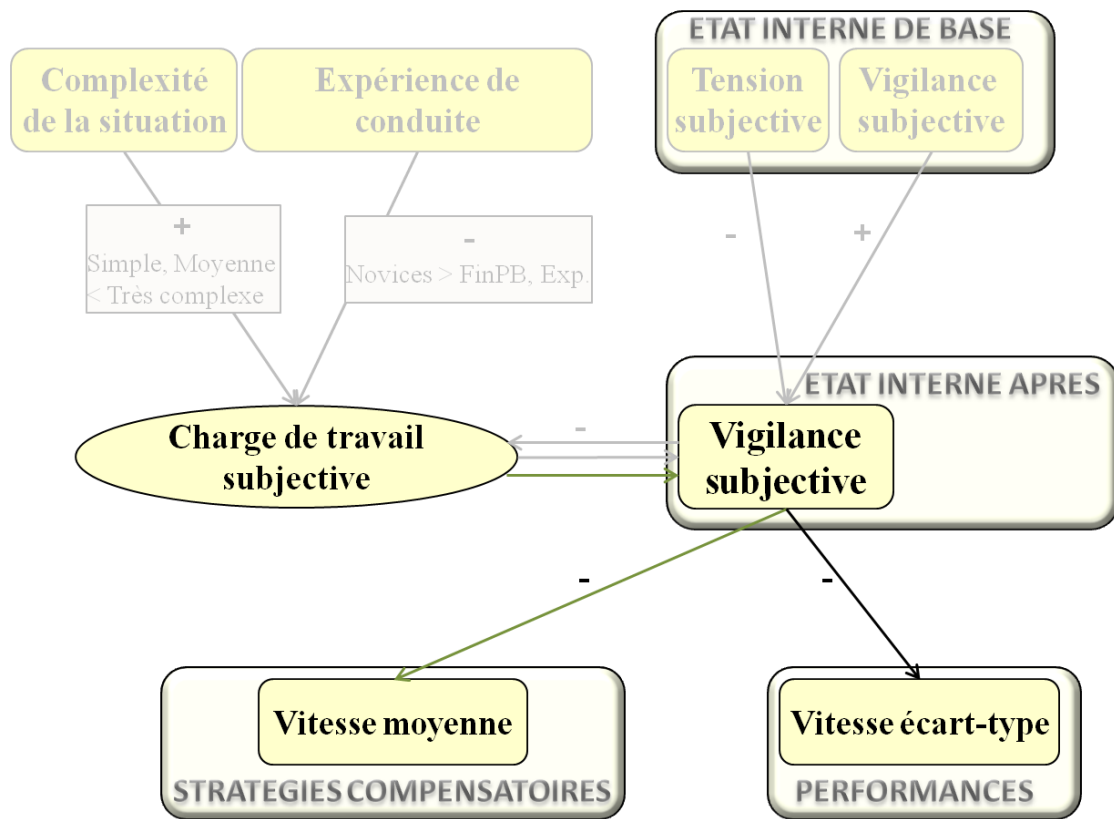


Notes : + : effet positif.

Figure 57. Effets de la vigilance subjective de base sur la vigilance subjective après chaque situation.

Comme attendu, la hausse de vigilance subjective avant augmentait la vigilance subjective après chaque situation.

La vigilance subjective après chaque situation influençait la vitesse de manière générale, en termes de performances de conduite (écart-type de vitesse) ainsi qu'en termes de stratégies compensatoires (vitesse moyenne) (voir Figure 58).



Notes : - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 58. Effets de la vigilance subjective après chaque situation sur les performances et les stratégies compensatoires.

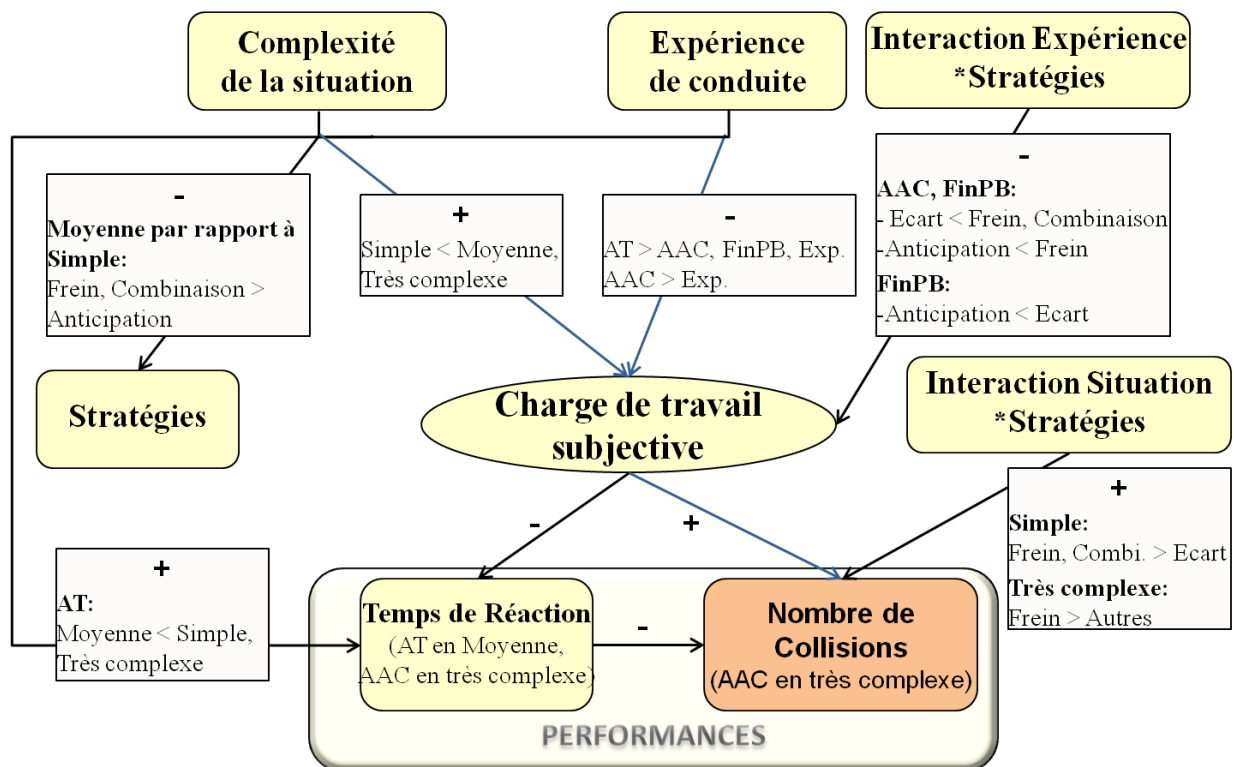
La baisse de vigilance après chaque situation dégradait les performances de conduite avec un manque de contrôle de la vitesse. La baisse progressive de vigilance entraînait des variations de vitesse avec probablement des moments d'accélération dus au relâchement du tonus musculaire, suivis de ralentissements pour revenir à la vitesse maximale autorisée. Aucune stratégie compensatoire à la baisse de vigilance due à un haut niveau de charge n'était mise en évidence, avec au contraire une augmentation de la vitesse moyenne. Ceci confirme que lors de la baisse de vigilance, la vitesse a tendance à augmenter (De Waard & Brookhuis, 1997 ; Larue et al., 2011), probablement avec un relâchement du tonus musculaire entraînant une pression plus importante sur la pédale d'accélération.

Après avoir identifié les différents effets entre la complexité de la situation, l'expérience de conduite, le niveau interne, la charge de travail subjective, les performances et les stratégies compensatoires sur les portions sans piétons, les portions avec piétons vont être abordées.

4.2. Portions avec piétons

4.2.1 Surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

L'ensemble des résultats concernant les effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail subjective, puis les effets de la situation, de l'expérience et de la charge de travail subjective sur les performances de conduite (TR et nombre de collisions), et enfin l'effet des stratégies d'évitement des piétons sur la charge de travail subjective et les performances de conduite ont permis d'identifier les facteurs de surcharge subjective en fonction des stratégies d'évitement efficaces (voir Figure 59).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 59. Surcharge de travail subjective et stratégies d'évitement en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.

La charge de travail subjective était plus élevée en situations moyennement complexe et très complexe qu'en situation simple (voir Figure 59). La complexité inhérente au contexte de la situation avait donc un rôle important sur la charge perçue attribuée à la présence de piétons, avec un coût perçu élevé dès que la situation devenait complexe.

L'ensemble des novices avaient un niveau de charge de travail subjective plus élevé que les autres groupes, avec des scores plus élevés pour les novices ayant suivi un

Apprentissage Traditionnel (AT) que pour ceux ayant suivi un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC). L'apprentissage supplémentaire des AAC permettait donc d'abaisser le coût perçu par rapport aux AT et trois années d'expérience suffisaient pour abaisser le coût perçu lors de l'apparition des piétons.

Les novices avec un Apprentissage Traditionnel (AT) avaient des temps de réaction plus courts en situation moyennement complexe que dans les deux autres situations. Nous pouvons supposer qu'en situation simple, la monotonie ne les préparait pas à réagir rapidement. En situation très complexe, leur manque d'automatisation de la tâche (Patten et al., 2006) et la difficulté accrue pour contrôler la trajectoire de leur véhicule les empêchait probablement d'être prêts à réagir rapidement. Enfin, en situation moyennement complexe, la difficulté mineure leur permettait probablement d'être suffisamment alertes et prêts à réagir rapidement. La hausse de la charge de travail subjective entraînait en effet un raccourcissement des TR.

Pour les novices avec un Apprentissage Anticipé de la Conduite (AAC), c'est en situation très complexe que la hausse de la charge raccourcissait les TR. De manière générale, ce groupe surestimait probablement ses capacités de conduite. En effet, ils n'avaient pas encore acquis toutes les compétences pour réaliser la tâche de conduite sans effort. De ce fait, lorsque la situation devenait très complexe, ils avaient probablement conscience de la difficulté de la tâche, ce qui les mettait en état d'alerte, les prédisposant ainsi à un niveau d'attention élevé nécessaire pour réagir plus rapidement. En effet, il a été démontré qu'en situation complexe de double tâche, les novices AAC faisaient moins d'erreur à la tâche secondaire que les novices AT et étaient donc attentifs à la tâche secondaire (Freydier, 2014).

De manière attendue, la hausse de la charge de travail subjective générée par l'augmentation de la complexité de la situation ainsi que par le manque d'expérience, dégradait les performances de conduite avec une hausse du nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons (voir Figure 59). En effectuant une analyse plus fine des résultats, l'étude montrait que cette hausse de la charge de travail subjective dégradant les performances s'observait uniquement pour les AAC en situation très complexe, révélant ainsi probablement une surcharge de travail. Ceci peut s'expliquer par le fait que durant les portions sans piétons, les novices AT conduisaient moins vite que les novices AAC, et ce pour l'ensemble des situations, (voir Figure 59) et avaient ainsi davantage de temps pour éviter les piétons. Les novices AAC qui conduisaient plus rapidement sous-estimaient donc probablement la difficulté de la tâche et

surestimaient leurs capacités (biais d'optimisme, McKenna, 1993) de part leur expérience supplémentaire.

De manière inattendue, plus les Temps de Réaction (TR) s'allongeaient et plus le nombre de collisions diminuait. Le nombre de collisions devait donc également dépendre des stratégies d'évitement des piétons.

La charge de travail subjective était élevée pour les novices AT, et notamment en situations moyennement complexe et très complexe, avec toutefois des améliorations de performances. Il est donc intéressant d'identifier quelles stratégies d'évitement des piétons étaient adoptées, et lesquelles étaient les moins coûteuses et les plus efficaces.

4.2.2 Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons (freinage, écart, combinaison, anticipation)

En situation simple, par rapport à la situation moyennement complexe, ils anticipaient davantage les piétons qu'ils n'effectuaient un freinage ou encore une combinaison freinage-écart. La complexité de la situation empêchait donc probablement d'anticiper l'arrivée des piétons, les conducteurs étant davantage concentrés sur la difficulté de la route.

Pour les novices AAC et les conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire (FinPB), faire un écart était perçu comme moins coûteux que d'effectuer un freinage ou une combinaison des deux. Avec un minimum d'expérience supplémentaire par rapport aux novices AT, les novices AAC effectuaient plus souvent un écart face à l'apparition des piétons qu'un freinage ou une combinaison. Le niveau de charge de travail subjective qu'ils attribuaient aux piétons étant élevé, réaliser un écart d'un simple mouvement de volant était probablement plus facile que d'appuyer sur la pédale de frein à temps pour éviter les piétons. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la stratégie de faire un écart leur paraissait moins coûteuse que de freiner ou de faire une combinaison. Bien que leur niveau de charge de travail subjective attribuée aux piétons ait été plus faible que celui des novices AAC, il restait tout de même plus élevé que celui des expérimentés, expliquant ainsi le même pattern de résultats que celui des novices AAC. Pour les novices AT, l'ensemble des stratégies devaient être très coûteuses dans la mesure où leur niveau de charge de travail subjective attribuée aux piétons était très élevé par rapport aux autres groupes. A l'inverse, pour les expérimentés, l'ensemble des stratégies devait être peu coûteux dans la mesure où ils avaient un faible niveau de charge de travail subjective attribuée aux piétons par rapport aux autres groupes.

Anticiper était également perçu comme moins coûteux que de freiner pour les novices AAC et les conducteurs à la fin du permis probatoire. Anticiper en réagissant avant même l'apparition des piétons nécessitait un certain niveau de vigilance, ce qui était probablement le cas de ces deux groupes. Ainsi, leur anticipation leur permettait d'avoir du temps pour éviter les piétons, ce qui abaissait donc le niveau de charge de travail subjective.

De plus, les FinPB percevaient l'anticipation comme étant la stratégie la moins coûteuse, même par rapport à la stratégie constituant à effectuer un écart. En effet, l'anticipation leur permettait d'aborder l'évitement du piéton avec une moindre pression temporelle comparativement aux autres stratégies. Pour les novices AAC, l'anticipation et l'écart étaient des stratégies non coûteuses. Aucune différence n'était observée entre les deux, probablement car leurs compétences ne leur permettaient pas d'appréhender la stratégie d'anticipation comme moins coûteuse.

En situation simple, les stratégies de freinage et de combinaison dégradaient les performances avec davantage de collisions que pour la stratégie d'écart. D'après la littérature, effectuer un freinage seul n'est pas le plus efficace face à une pression temporelle importante (Adams, 1994). En situation simple, la combinaison n'était probablement pas efficace dans la mesure où les conducteurs ne devaient pas être suffisamment en état d'alerte pour pouvoir adopter cette stratégie dans les délais temporels impartis.

Comme attendu, en situation très complexe, la stratégie de freinage était la moins efficace, avec davantage de collisions que pour l'ensemble des autres stratégies. La complexité de la situation permettait probablement aux conducteurs d'avoir un niveau d'alerte suffisamment élevé pour que la stratégie « combinaison » soit plus efficace.

D'une manière générale, la stratégie de freinage était très coûteuse et non efficace en situations simple et très complexe. Des effets modulateurs de l'état interne d'activation pourraient toutefois expliquer les niveaux de charge de travail subjective, les stratégies d'évitement adoptées et les performances de conduite en fonction de la situation et de l'expérience.

4.2.3 Niveau interne d'activation: effets modulateurs sur la surcharge ?

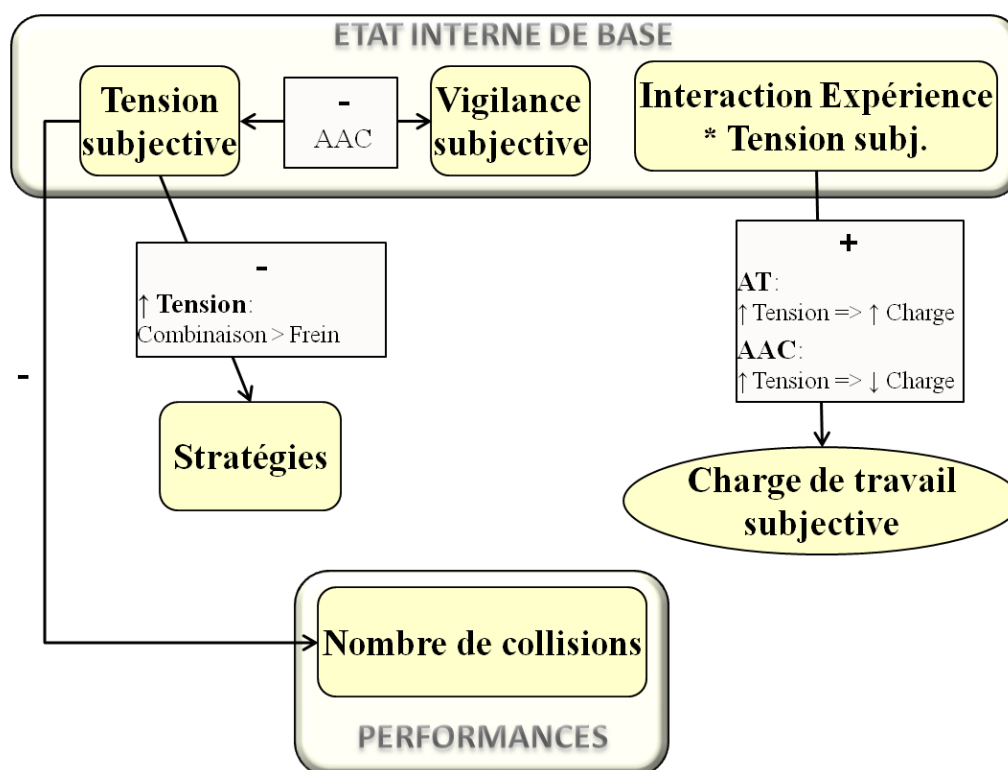
Les résultats des effets du niveau d'activation interne avant et après chaque situation sur la charge de travail subjective attribuée aux piétons, les stratégies d'évitement des piétons et les performances de conduite, ainsi que les effets de la situation et de l'expérience sur le niveau interne d'activation ont permis d'identifier si le niveau d'activation interne modulait la surcharge de travail.

Etat interne avant chaque situation

Les composantes étudiées de l'état interne avant chaque situation (tension et vigilance) avaient des effets sur les différentes variables, en fonction du niveau d'expérience et de la complexité de la situation.

Les novices AAC avaient un niveau d'activation interne élevé avec une forte dépense énergétique les prédisposant à la surcharge.

La tension subjective avant chaque situation avait des effets modulateurs à différents niveaux (voir Figure 60).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

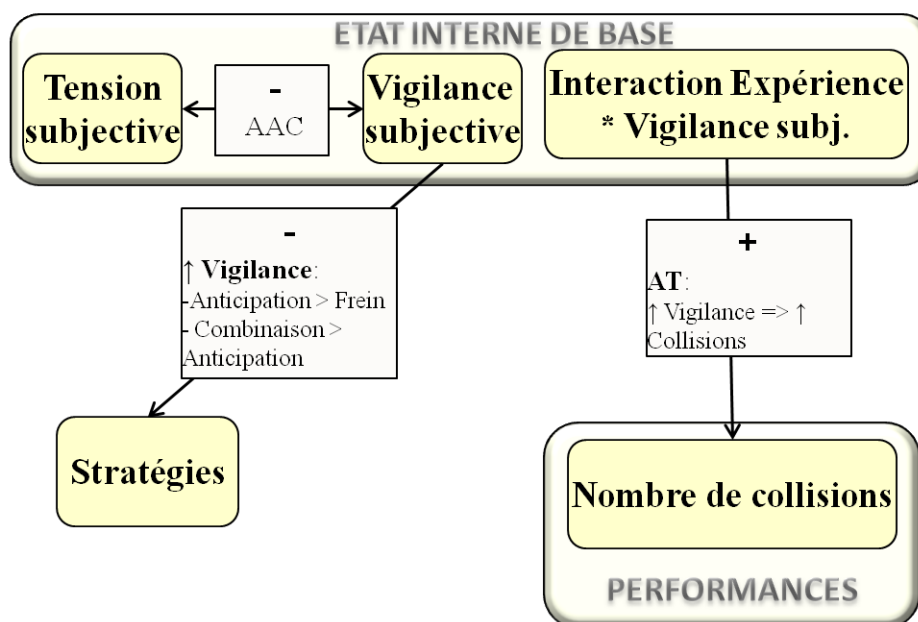
Figure 60. Effets d'une composante de l'état interne avant chaque situation sur la charge de travail subjective, les performances et les stratégies d'évitement des piétons: la tension subjective.

Comme attendu, pour les novices AT, la hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait la charge de travail subjective attribuée aux piétons. A l'inverse, cela diminuait la charge pour les novices AAC. Pour ces derniers, le fait de se sentir tendu avant même de débiter la conduite leur permettait probablement d'être prêts à réagir et donc d'abaisser le coût ressenti au moment de l'apparition des piétons. Leur niveau de tension subjective ne devait donc pas être trop élevé, dans la mesure où cela leur était plutôt favorable, contrairement aux novices AT.

Avec une tension subjective élevée avant chaque situation, les conducteurs avaient tendance à effectuer une combinaison freinage-écart plutôt qu'un freinage. En étant en état de tension avant même de débiter la conduite, ils étaient probablement d'autant plus tendus face à l'apparition soudaine des piétons, provoquant ainsi une réaction tardive d'urgence de freinage et d'écart afin d'éviter les piétons.

Enfin, la hausse de la tension subjective améliorerait les performances en diminuant le nombre de collisions. Le niveau élevé de tension perçue permettait donc probablement aux conducteurs d'être plus attentifs au moment de l'apparition des piétons, ce qui était nécessaire pour les éviter. Le niveau de tension ne devait donc pas être trop élevé dans l'ensemble, mais suffisamment pour optimiser les performances (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908).

La vigilance subjective avant chaque situation avait des effets modulateurs à différents niveaux (voir Figure 61).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

Figure 61. Effets de la vigilance subjective avant chaque situation sur la charge de travail subjective, les performances et les stratégies d'évitement des piétons.

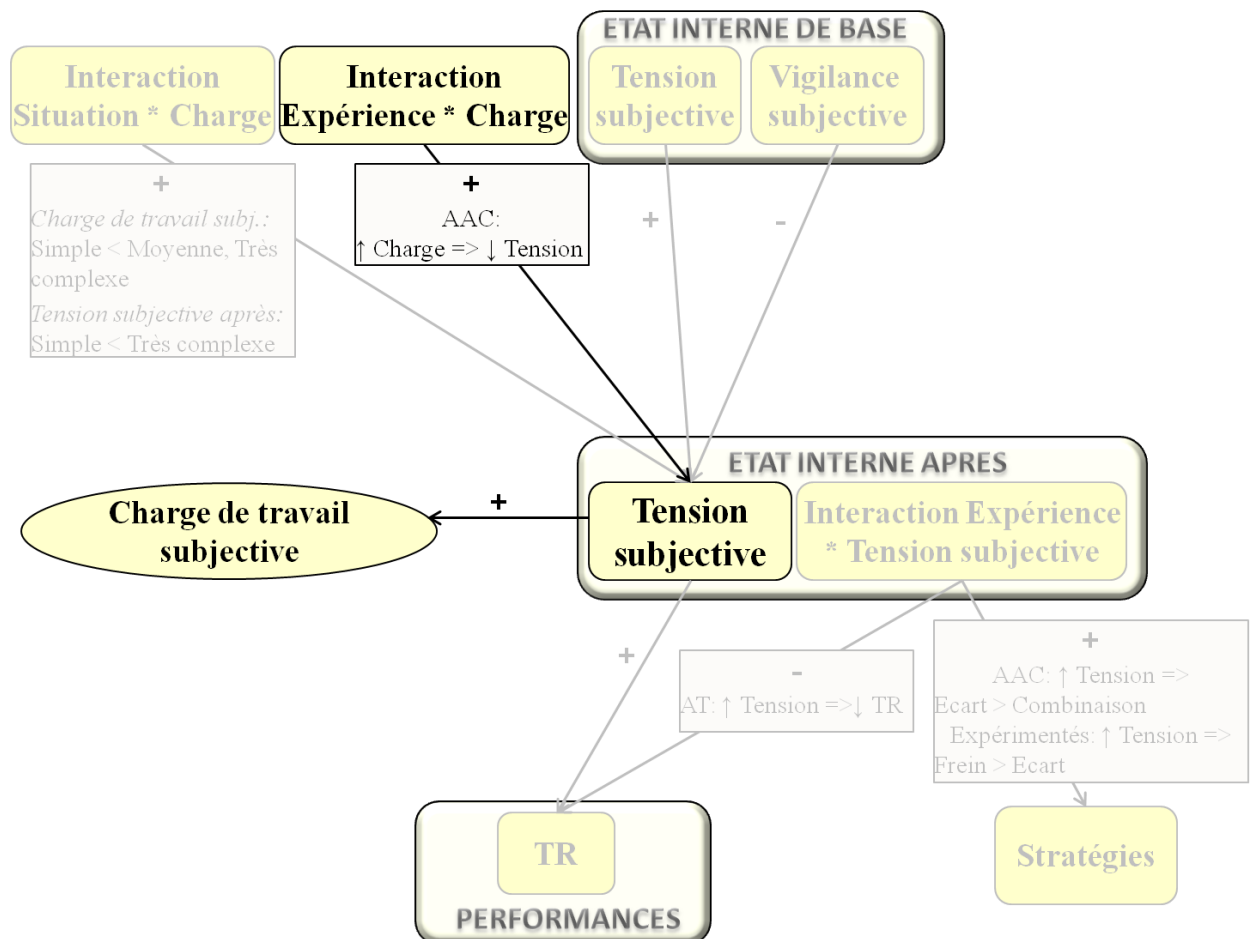
Avec un niveau de vigilance subjective élevé, la probabilité était élevée pour que les conducteurs fassent une combinaison, moyenne pour qu'ils anticipent les piétons, et enfin faible pour qu'ils freinent. Un niveau élevé de vigilance leur permettait ainsi probablement de mettre en place la stratégie évaluée comme étant la plus efficace pour éviter les piétons, à savoir la combinaison. Cela leur permettait également d'être suffisamment alertes pour anticiper l'éventuelle apparition des piétons, en lâchant la pédale d'accélération ou en faisant un écart dès la présence d'un abris bus, d'un arbre ou d'un panneau d'affichage sur le bas côté, avant même que le piéton apparaisse.

De plus, pour les novices AT, une vigilance élevée avant chaque situation entraînait une augmentation du nombre de collisions. Ainsi, malgré le fait qu'ils soient relativement alertes avant de débiter la conduite, les novices AT ne réagissaient pas de manière adéquate pour éviter l'accident avec les piétons.

Etat interne après chaque situation

➤ Tension subjective

Les niveaux subjectifs de tension et de charge de travail s'influençaient mutuellement (voir Figure 62).

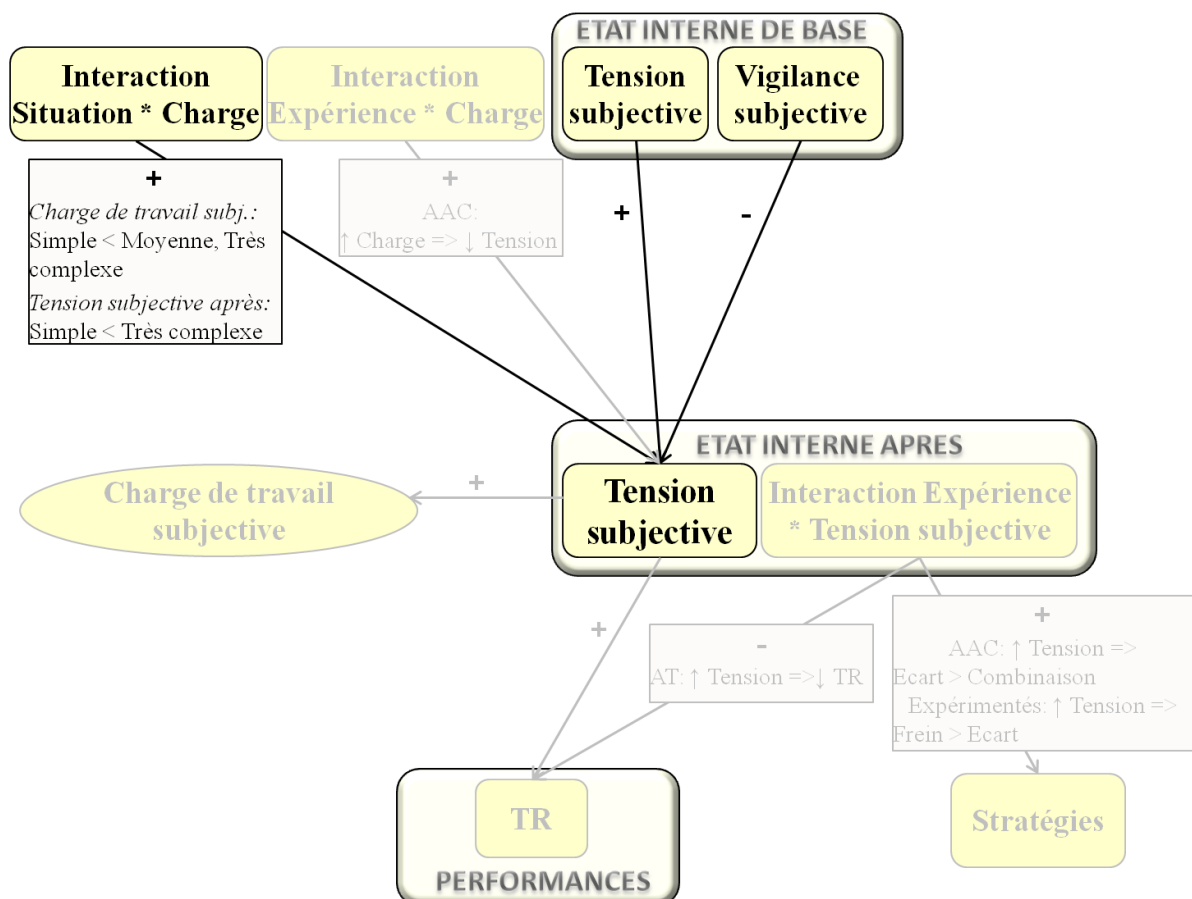


Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; \uparrow : hausse ; \downarrow : baisse.

Figure 62. Relations entre tension subjective après chaque situation et charge de travail subjective.

Pour les novices AAC, la hausse de charge de travail subjective diminuait la tension subjective après chaque situation, qui à son tour augmentait le niveau de charge de travail. Dans la mesure où ce groupe a été soumis à un apprentissage de la conduite sous la supervision d'un conducteur averti, il a probablement eu l'habitude de s'évertuer à correspondre au stéréotype d'un « bon conducteur » afin d'être jugé positivement. N'ayant pas encore automatisé l'ensemble des routines de conduite, il devait donc fournir un certain effort afin d'atteindre ce niveau de « bon conducteur » pour être apaisé. Ainsi, un niveau élevé de charge lui permettait d'abaisser son niveau de tension. Réciproquement, lorsqu'il se sentait peu tendu, cela lui permettait probablement de fournir un effort pour optimiser ses performances de conduite, augmentant ainsi son niveau de charge de travail subjective.

La tension subjective après chaque situation était influencée par la situation et l'état interne de base (Figure 63).



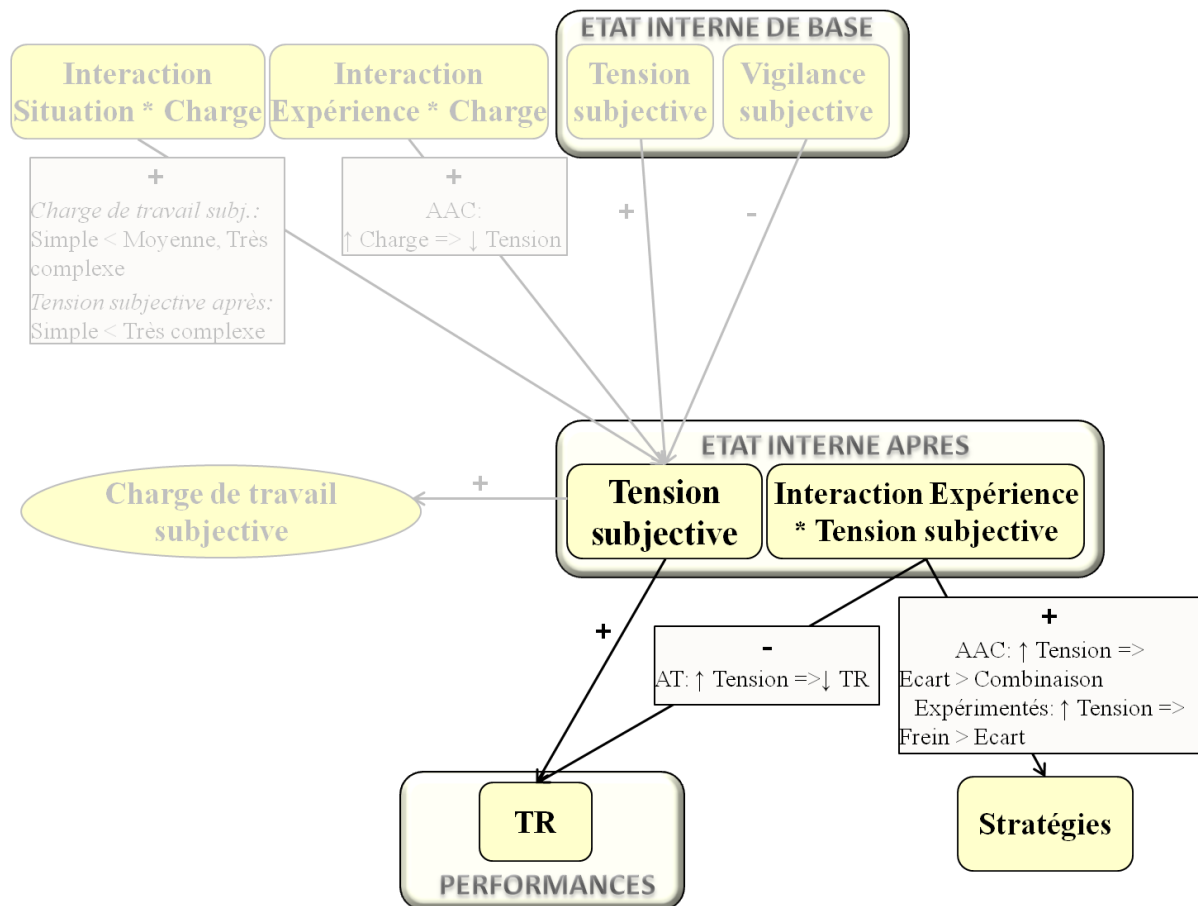
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 63. Effets de la situation et de l'état interne de base sur la tension subjective après chaque situation.

Comme attendu, l'état interne de base caractérisé par une tension subjective élevée ainsi qu'une vigilance subjective faible augmentait la tension subjective après chaque situation. Une forte dépense énergétique avant même de débiter la conduite favorisait ainsi une tension élevée après chaque situation.

De plus, la tension subjective après chaque situation était plus élevée après la situation très complexe qu'après la situation simple. La situation moyennement complexe n'était visiblement pas suffisamment complexe pour augmenter le niveau subjectif de tension.

La tension subjective après chaque situation influençait les stratégies d'évitement des piétons ainsi que les performances de conduite (TR) (voir Figure 64).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

Figure 64. Effets de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies d'évitement des piétons et les performances (TR).

Concernant l'influence de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies, des distinctions sont à faire en fonction du niveau d'expérience.

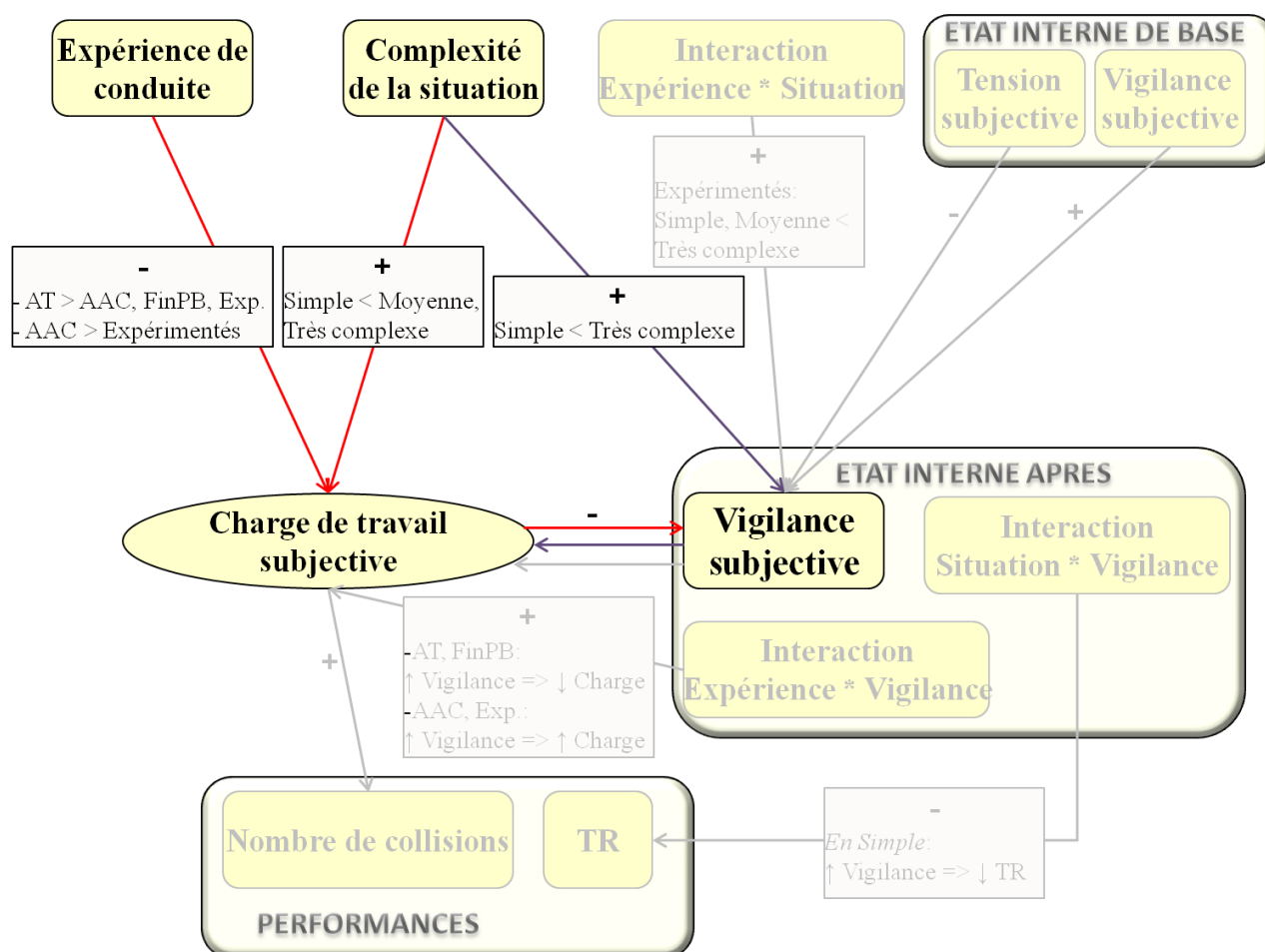
Pour les novices AAC, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait la probabilité de faire un écart plutôt qu'une combinaison. N'ayant pas encore entièrement automatisé les routines de conduite (Patten et al., 2006), il leur était donc probablement plus difficile de réagir rapidement face à l'évènement anxiogène. En effet, les novices ont tendance à adopter un comportement avec des temps de réponse plus longs que les expérimentés (McKenna & Crick, 1991 ; Quimby & Watts, 1981 ; Sexton, 2000 ; in Wallis & Hornswill, 2007). Ainsi, les novices AAC effectuaient probablement un écart assez tardivement dans la mesure où il s'agit de la seule stratégie efficace pour éviter le piéton au dernier moment.

Pour les expérimentés, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait la probabilité d'effectuer un freinage plutôt qu'un écart. Ayant davantage automatisé les routines de conduite que les conducteurs novices, la hausse de tension permettait probablement aux expérimentés de réagir tôt dès l'apparition des piétons. Ils avaient donc le temps de mettre en place un freinage, stratégie la moins dangereuse en restant sur sa voie.

Généralement, la hausse de tension subjective après chaque situation rallongeait les TR, hormis pour les novices avec un Apprentissage Traditionnel (AT) pour qui cela raccourcissait les TR. Un niveau élevé de tension permettait donc aux novices AT de réagir rapidement et ainsi d'avoir de bonnes performances. Ils n'avaient donc probablement pas atteint un niveau de tension assez élevé pour dégrader leurs performances (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908).

➤ *Vigilance subjective*

Les niveaux subjectifs de vigilance après chaque situation et de charge de travail s'influençaient mutuellement (voir Figure 65).



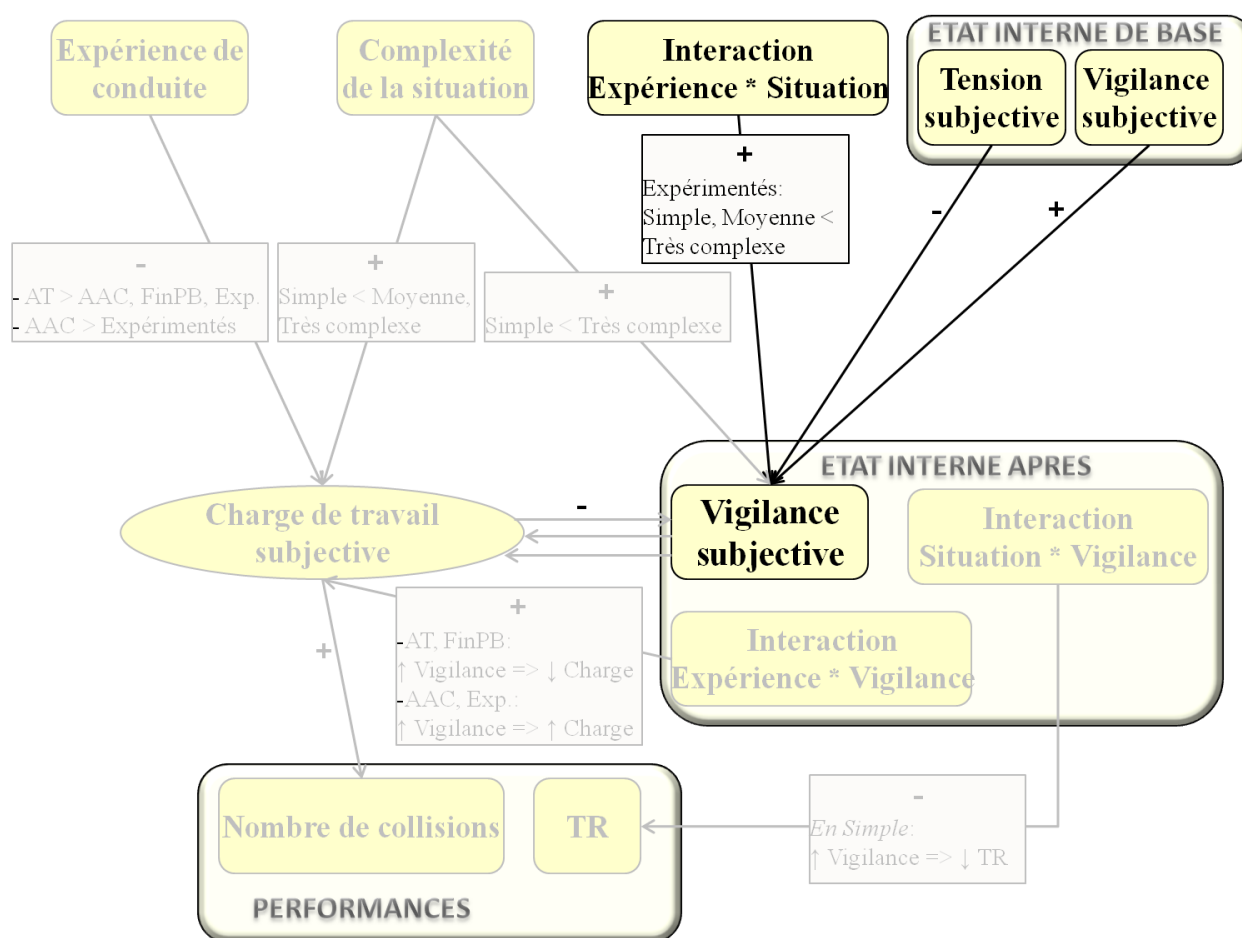
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 65. Relations entre vigilance subjective après chaque situation et charge de travail subjective.

D'une part, la charge de travail subjective attribuée aux piétons augmentait avec le manque d'expérience, avec les niveaux les plus élevés pour les novices AT et AAC. Elle augmentait également avec la complexité de la situation, avec des niveaux plus élevés en situations moyennement complexe et très complexe. A son tour, un niveau élevé de charge de travail entraînait un faible niveau de vigilance subjective après chaque situation. D'autre part, un faible niveau subjectif de vigilance après chaque situation, dû à la complexité de la situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective. Comme durant les portions sans

piétons, ces résultats confirment que, durant les situations complexes, la hausse de la charge attribuée aux piétons diminuait probablement le niveau de vigilance de part les tâches difficiles et précises à réaliser (Brookhuis et al., 2003), notamment pour les novices. De plus, durant les situations simples et monotones, leur état de vigilance étant faible, il leur était coûteux d'appréhension de la traversée des piétons, n'étant pas préparés à agir pour les éviter.

La situation, l'expérience et l'état interne avant chaque situation avaient un effet sur la vigilance subjective après chaque situation (voir Figure 66).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

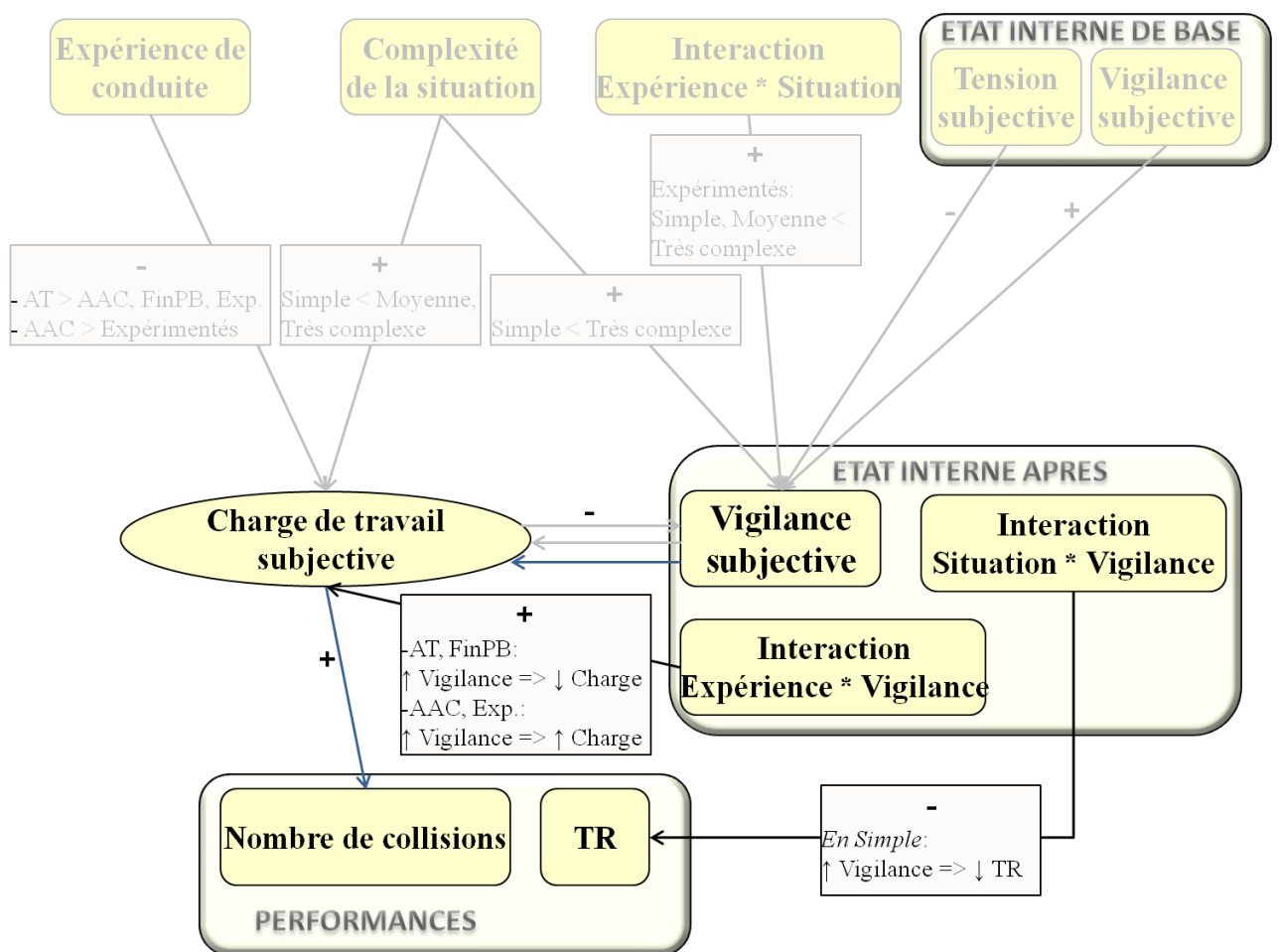
Figure 66. Effets de l'expérience, de la situation et de l'état interne de base sur la vigilance subjective après chaque situation.

Le niveau subjectif de vigilance après chaque situation était plus élevé en situation très complexe qu'en situations simple et moyennement complexe, uniquement pour les expérimentés. Ainsi, ayant automatisé les routines de conduite, cela leur permettait d'avoir un faible niveau de vigilance en situation moyennement complexe, contrairement aux autres

groupes pour qui la différence de niveau de vigilance ne s'observait qu'entre les situations simple et très complexe.

De manière attendue, un état interne de base caractérisé par un haut niveau de tension et un faible niveau de vigilance entraînait un faible niveau de vigilance après chaque situation.

La vigilance subjective après chaque situation influençait la charge de travail subjective ainsi que les performances de conduite (TR et nombre de collisions avec les piétons) (voir Figure 67).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : liens indirects.

Figure 67. Effets de la vigilance subjective après chaque situation sur la charge de travail subjective et les performances.

Pour les novices AT et les conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire, la hausse de vigilance après chaque situation leur permettait d'abaisser la charge de travail subjective en investissant moins d'effort pour réaliser la tâche de conduite. A l'inverse, pour les novices AAC et les expérimentés, la hausse de la vigilance après chaque situation augmentait la

charge de travail subjective. Pour les novices qui ont eu l'habitude d'être supervisé en conduisant et pour les expérimentés qui ont rencontré de multiples situations, leur expérience leur a probablement permis d'avoir un surcroît de conscience de l'activité de conduite. Leur effort pour réaliser la tâche de conduite n'était donc pas relâché. Ainsi, avec un niveau élevé de vigilance, ils s'investissaient d'autant plus dans leur tâche de conduite, augmentant donc leur charge de travail subjective.

En situation simple, la hausse de vigilance subjective raccourcissait les TR. Dans cette situation monotone durant laquelle le niveau de vigilance était relativement faible, une hausse de vigilance était donc nécessaire afin d'être prêt à réagir rapidement pour éviter les piétons.

Enfin, de manière globale, un faible niveau de vigilance après chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective qui, à son tour, provoquait des dégradations de performances avec un nombre élevé de collisions avec les piétons. La surcharge de travail au moment de la traversée des piétons serait donc due à un faible niveau de vigilance subjective.

Ces différents résultats montrent donc que le niveau interne d'activation modulait la surcharge de travail. D'après l'ensemble des résultats de cette première expérimentation, il est intéressant de conclure sur les particularités des différents profils de conducteurs en fonction de leur niveau d'expérience et de leur type d'apprentissage.

5. Conclusion

En conclusion, nous pouvons constater des différences importantes entre les quatre groupes de conducteurs considérés dans cette étude (les novices AT, les novices AAC, les conducteurs à la fin du permis probatoire et les expérimentés) dans les portions sans et avec piétons.

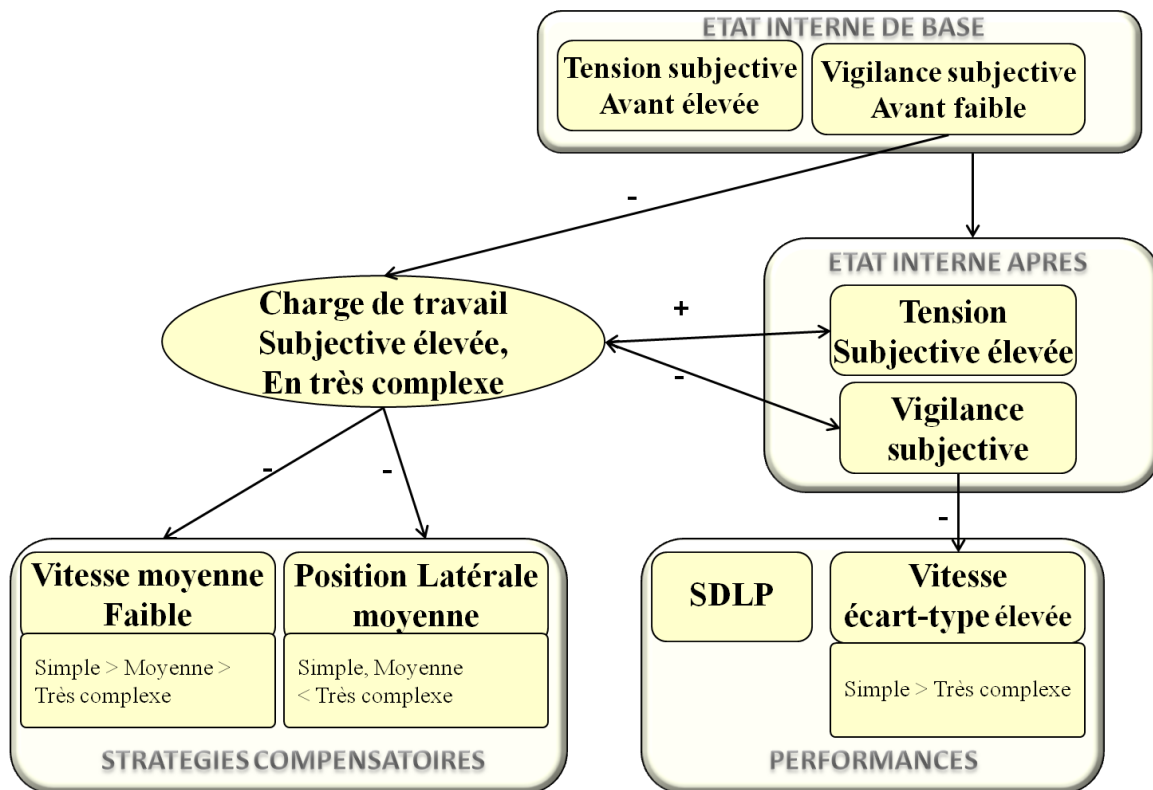
5.1. Portions sans piétons

De manière générale, pour l'ensemble des groupes, l'état interne de base avant chaque situation influençait toujours l'état interne après chaque situation. Ainsi, comme attendu, un niveau élevé de tension et un faible niveau de vigilance avant chaque situation provoquaient un niveau élevé de tension et un faible niveau de vigilance après chaque situation (voir Figures 68, 69, 70 et 71). Cependant, des différences de résultats s'observaient en fonction des groupes.

Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, de manière attendue, le niveau subjectif de charge de travail était particulièrement élevé, notamment en situation très complexe, lorsque le niveau subjectif de vigilance avant chaque situation était faible, et lorsque l'état d'activation interne après chaque situation était élevé avec un niveau élevé de tension et un faible niveau de vigilance. Réciproquement, le niveau élevé de charge de travail subjective provoquait un état d'activation interne élevé après chaque situation (tension élevée et vigilance faible) (voir Figure 68).

Avec leur niveau élevé de charge de travail subjective, les novices AT adoptaient des stratégies compensatoires, en réduisant leur vitesse déjà faible, au fur et à mesure de la hausse de complexité de la situation, et en se positionnant davantage vers le milieu de leur voie en situation très complexe.

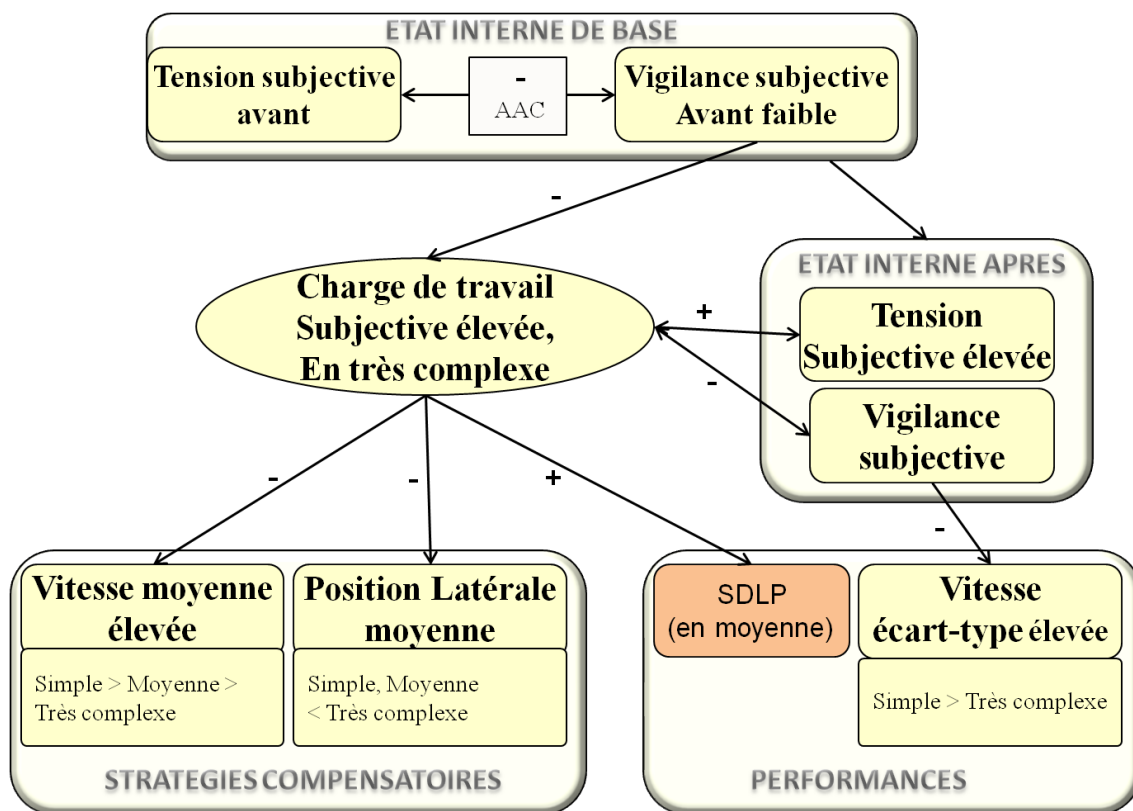
Ces stratégies compensatoires étaient efficaces pour l'ensemble des situations concernant les déviations de la position latérale qui ne variaient pas, et uniquement en situation très complexe concernant l'écart-type de la vitesse. En effet, en situation simple, et notamment avec un faible niveau de vigilance subjective après chaque situation, l'écart-type de vitesse était élevé.



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 68. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.

Les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite présentaient le même profil que les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, à la différence qu'ils avaient un niveau d'état d'activation interne plus élevé avec une forte dépense énergétique avant même de commencer l'activité de conduite, ce qui les prédisposait probablement à la surcharge de travail observée en situation moyennement complexe avec un niveau élevé de charge de travail subjective qui dégradait leurs performances (perte du contrôle latéral sur la voie avec une hausse des SDLP) (voir Figure 69). La stratégie compensatoire de réduction de leur vitesse qu'ils adoptaient majoritairement avec la hausse de la complexité de la situation n'était donc pas efficace en situation moyennement complexe, probablement car ils sous-estimaient la difficulté de la tâche, surestimaient leurs capacités (voir biais d'optimisme, McKenna, 1993) et ne réduisaient donc pas suffisamment leur vitesse par rapport à leurs capacités réelles.



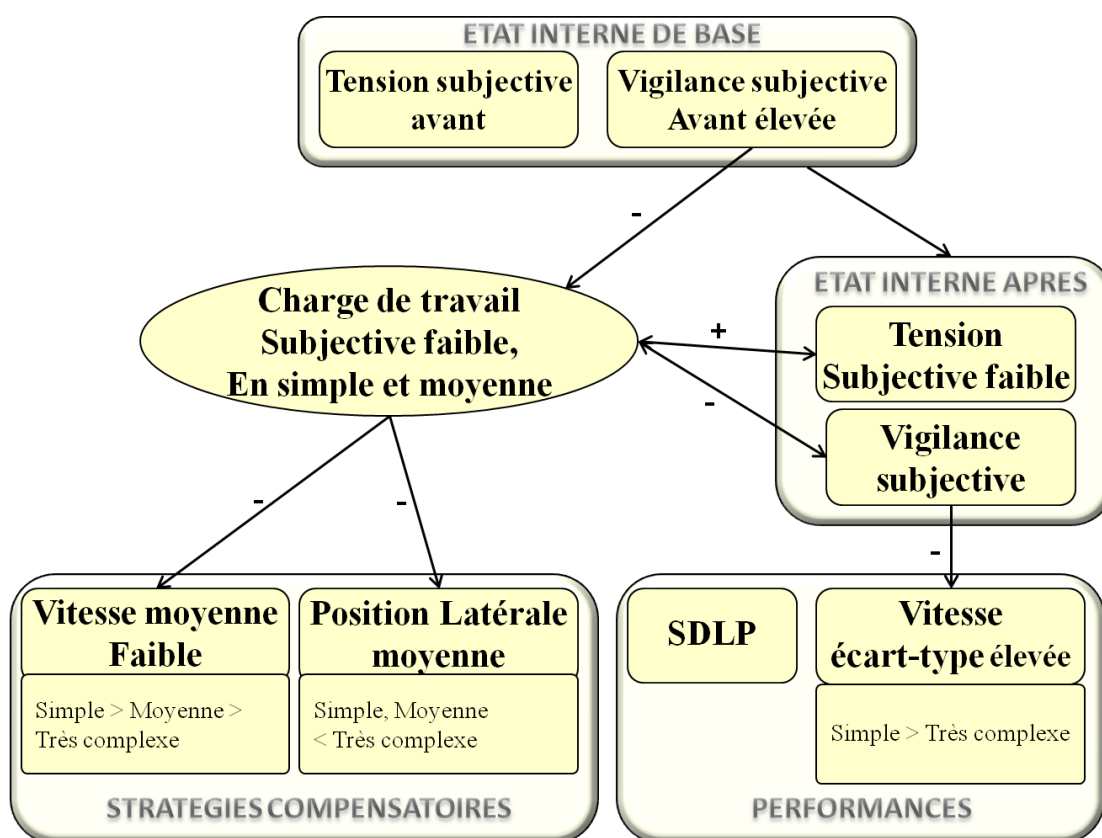
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 69. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite.

Les conducteurs à la fin du permis probatoire exprimaient un faible niveau de charge de travail, notamment en situation simple et moyennement complexe, provoqué par un niveau élevé de vigilance subjective avant chaque situation, un faible niveau de tension et un niveau élevé de vigilance après chaque situation. Leur état d'activation interne avec une faible dépense énergétique leur permettait donc de réduire leur charge de travail subjective. Réciproquement, ce faible niveau de charge entraînait un faible niveau d'activation (faible niveau de tension et niveau élevé de vigilance) (voir Figure 70).

Malgré cela, lorsque le niveau de charge augmentait, ils réduisaient leur vitesse lorsque la complexité de la situation augmentait d'une part, et se positionnaient vers le milieu de leur voie en situation très complexe d'autre part.

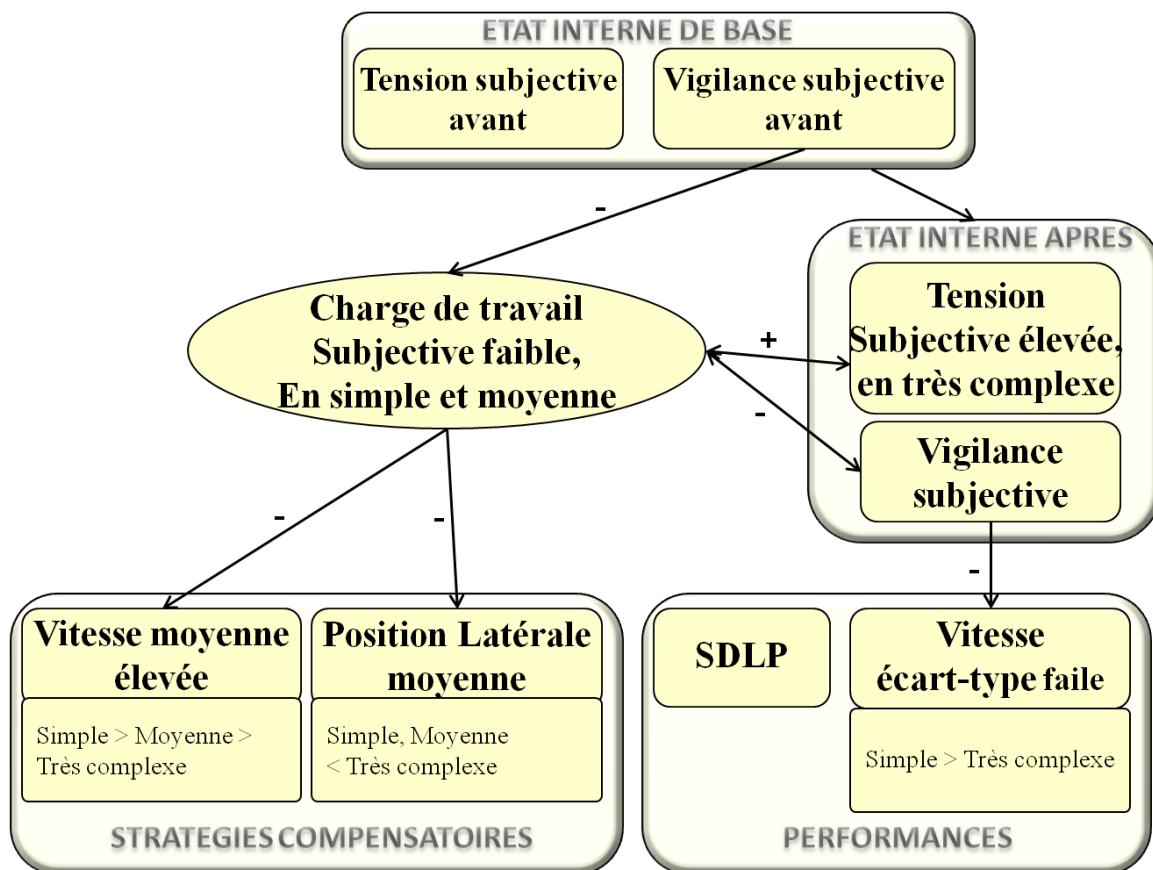
Comme pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, ces stratégies compensatoires étaient efficaces pour l'ensemble des situations en gardant un contrôle de leur position latérale, et uniquement en situation très complexe concernant l'écart-type de la vitesse. En effet, en situation simple, et notamment avec un faible niveau de vigilance subjective après chaque situation, l'écart-type de vitesse était élevé.



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 70. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.

Les conducteurs expérimentés exprimaient un faible niveau de charge de travail subjective, notamment en situation simple et moyennement complexe, provoqué par un niveau élevé de vigilance subjective avant chaque situation, un faible niveau de tension et un niveau élevé de vigilance après chaque situation. Comme pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, leur état d'activation interne caractérisé par une faible dépense énergétique leur permettait donc d'abaisser la charge de travail subjective. Réciproquement, le faible niveau de charge entraînait un faible niveau d'activation (faible niveau de tension et niveau élevé de vigilance). Cependant, contrairement aux autres groupes, le niveau de tension subjective après chaque situation était particulièrement élevé, notamment en situation très complexe (voir Figure 71). Ils avaient donc probablement une conscience de la difficulté de la tâche plus importante que les autres groupes, due à leur expérience supplémentaire de conduite.



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

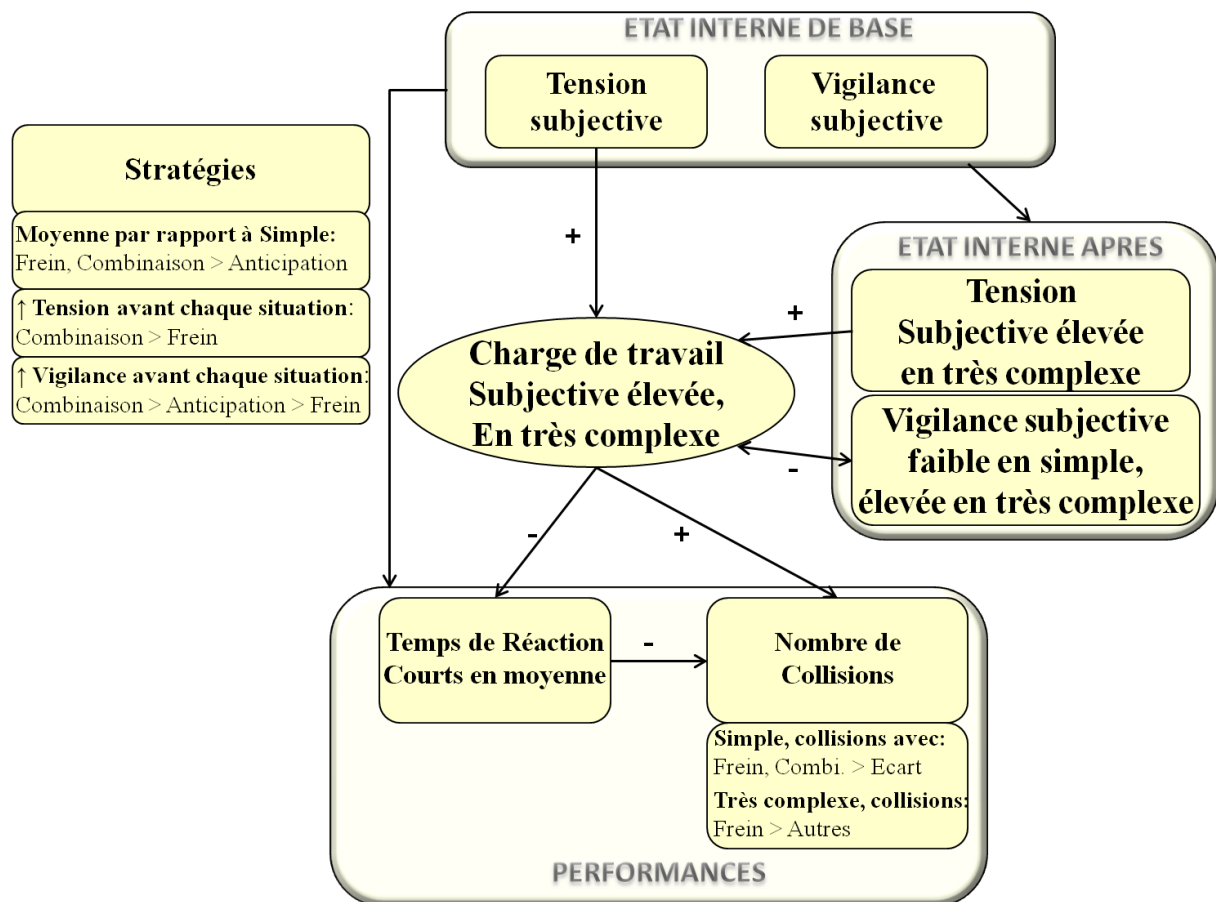
Figure 71. Modèle obtenu pour les conducteurs expérimentés.

5.2. Portions avec piétons

Les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel avaient un niveau élevé de charge de travail subjective attribuée aux piétons, notamment en situation très complexe, provoquée par un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation, et un niveau d'état d'activation interne élevé après chaque situation, avec un niveau élevé de tension et un faible niveau de vigilance. Il est tout de même à noter qu'après avoir conduit en situation très complexe, les niveaux de tension et de vigilance étaient élevés. Ainsi, bien qu'un faible niveau de vigilance entraînait un niveau élevé de charge, le niveau élevé de vigilance en situation très complexe permettait probablement aux novices AT d'être davantage alertes face à l'apparition des piétons. Réciproquement, un niveau élevé de charge provoquait un faible niveau de vigilance (voir Figure 72).

Leur niveau élevé de charge de travail subjective améliorait leurs performances en ayant des Temps de Réaction courts en situation moyennement complexe, mais dégradait leurs performances en augmentant le nombre de collisions avec les piétons. De plus, conformément à nos attentes, l'allongement des Temps de Réaction augmentait le nombre de collisions avec les piétons.

Les collisions avec les piétons dépendaient également du niveau d'état interne de base et des stratégies d'évitement des piétons. En effet, un faible niveau de tension ainsi qu'un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un nombre élevé de collisions avec les piétons. Ces collisions étaient d'autant plus importantes lorsque des stratégies de freinage ou de combinaison étaient mises en place, notamment en situation simple, même si ces deux stratégies étaient davantage adoptées en situation moyennement complexe qu'en situation simple. Dans cette dernière situation, la stratégie de faire un écart était la plus efficace. En situation très complexe, le nombre de collisions était plus important lorsque la stratégie de freinage était mise en place, même si cette stratégie était la moins adoptée lorsque les niveaux subjectifs de tension et de vigilance avant chaque situation étaient élevés. Par conséquent, les niveaux élevés de tensions et de vigilance permettaient aux conducteurs d'être suffisamment alertes et prêts pour adopter les stratégies les plus efficaces.



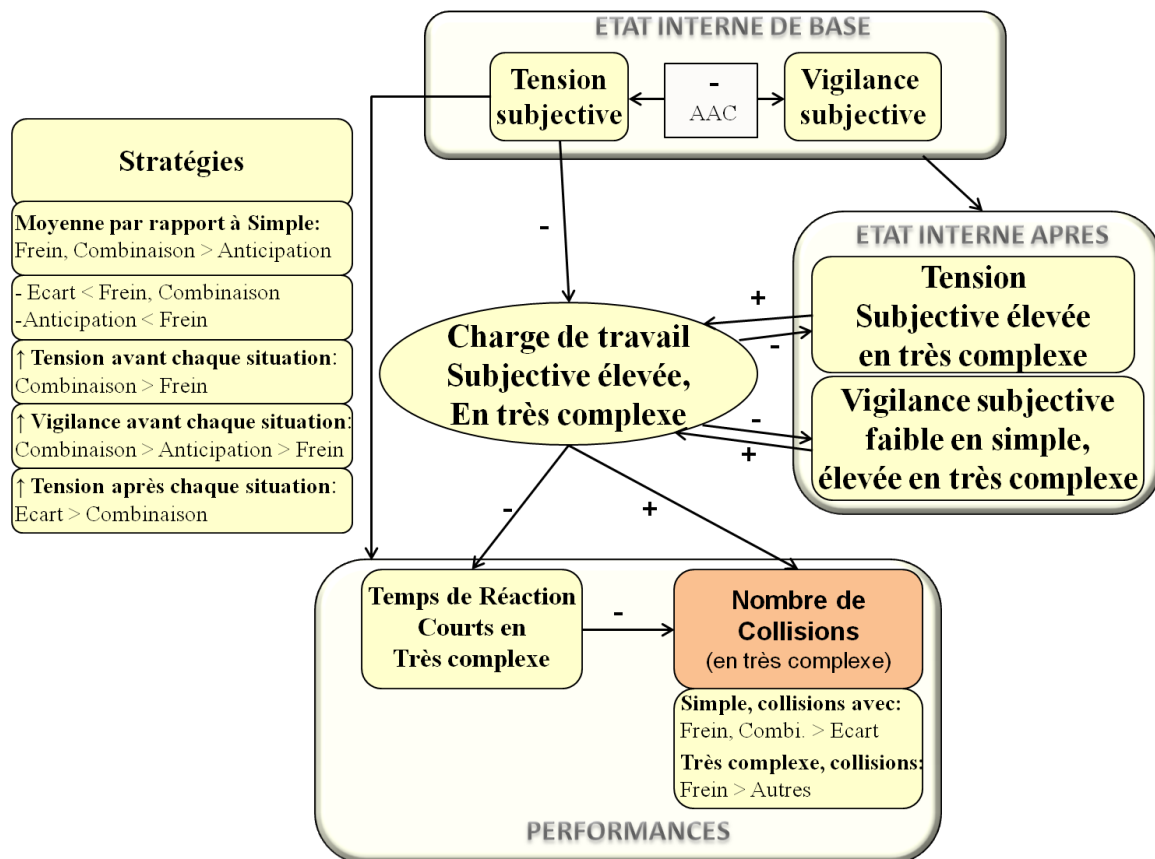
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse.

Figure 72. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.

Les conducteurs novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite avaient également un niveau élevé de charge de travail subjective, notamment en situation très complexe, qui était provoqué par un faible niveau de tension subjective avant chaque situation, et par des niveaux élevés de tension et de vigilance après chaque situation, notamment en situation très complexe. Réciproquement, un niveau élevé de charge entraînait de faibles niveaux de tension et de vigilance après chaque situation. Contrairement à nos attentes, un niveau élevé de vigilance n'aidait pas les novices AAC à abaisser leur charge de travail subjective, qui, à son tour en revanche, aidait à abaisser le niveau de tension. Nous pouvons donc supposer que de part leur expérience supplémentaire par rapport aux novices AT, les novices AAC redoutaient moins l'apparition des piétons et, en situation très complexes, ils avaient donc un niveau de tension moins élevé que les novices AT, ce qui leur permettait de garder de l'énergie pour maintenir un niveau de vigilance élevé. Cependant, dans la mesure où ils n'avaient pas encore acquis toutes les compétences de conduite pouvant être nécessaires face à un danger, ce niveau élevé de vigilance leur faisait probablement davantage prendre conscience de la difficulté de la tâche (éviter les piétons), entraînant ainsi un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effort important à réaliser pour éviter les piétons. En retour, lorsque leur charge de travail subjective attribuée aux piétons était élevée, cela leur permettait de prendre conscience de la difficulté de la tâche et donc d'abaisser leur niveau de tension.

Un niveau élevé de charge de travail subjective améliorait les performances en ayant des Temps de Réaction courts en situation très complexe, mais les dégradait en augmentant le nombre de collisions avec les piétons dans cette même situation, révélant ainsi une surcharge de travail. L'état d'activation interne de base était élevé avec une corrélation négative entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance, ce qui prédisposait ces conducteurs à la surcharge.

Malgré des Temps de Réaction courts en situation très complexe, le nombre élevé de collisions était dû à la mise en place de la stratégie de freinage, qui était la plus utilisée. Cette stratégie de freinage non efficace, pourtant adoptée par les novices AAC, révélait ainsi une surestimation de leurs capacités, dans la mesure où ils continuaient à adopter cette stratégie, même en notant son inefficacité, pensant probablement qu'ils pourraient éviter le piéton la prochaine fois.

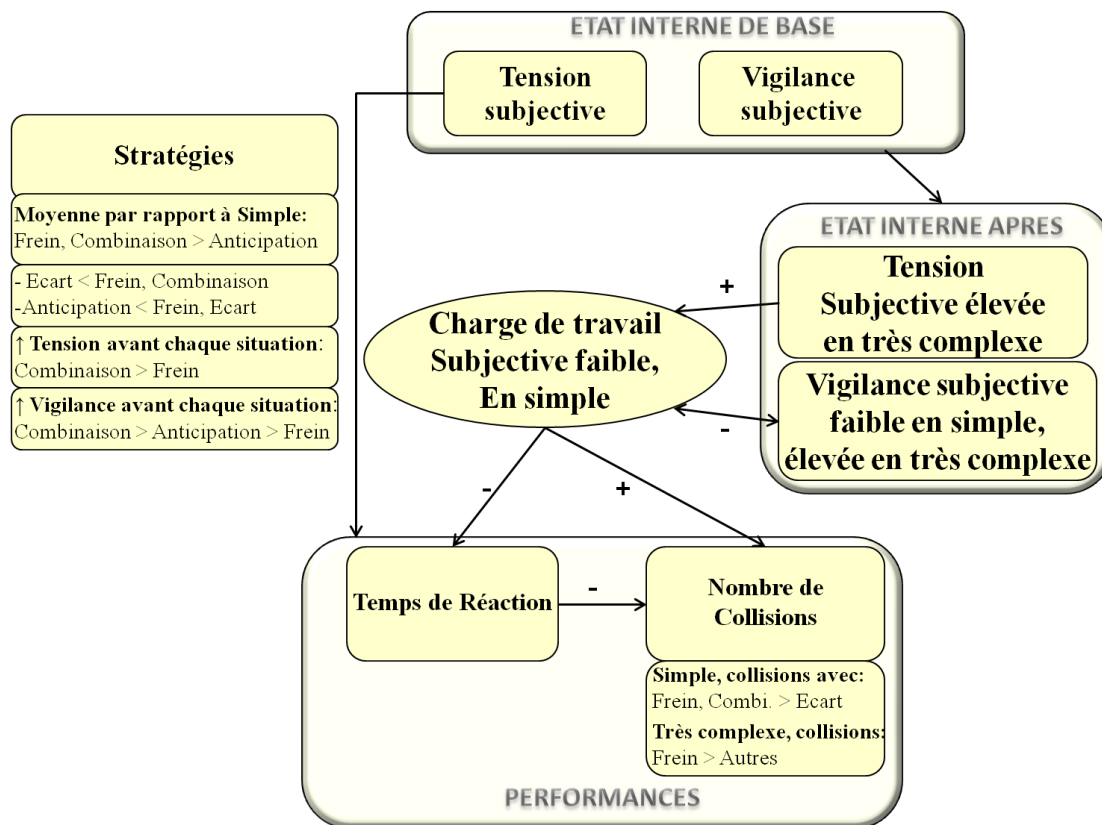


Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse.

Figure 73. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite.

Les conducteurs à la fin du permis probatoire avaient un niveau plutôt faible de charge de travail subjective, notamment en situation simple, provoqué par un faible niveau de tension subjective et un niveau élevé de vigilance subjective après la situation simple. Ils étaient donc en état d'activation interne faible avec peu de dépenses énergétiques. Réciproquement, un faible niveau de charge de travail subjective entraînait un niveau élevé de vigilance subjective après chaque situation, notamment après la situation très complexe. De part leur expérience supplémentaire par rapport aux novices AAC, ces conducteurs cherchaient probablement à être davantage vigilants dans cette situation, étant conscients de la difficulté de la tâche (voir Figure 74).

Le faible niveau de charge de travail subjective provoquait un rallongement des Temps de Réaction, qui entraînaient un faible nombre de collisions. Les collisions étaient donc dues aux stratégies adoptées. Comme pour les novices AT et AAC, les stratégies de freinage et de combinaison étaient inefficaces en situation simple et la stratégie de freinage était inefficace en situation très complexe. Cependant, comme pour les novices AAC, ils adoptaient davantage la stratégie de freinage de manière générale, bien qu'elle soit inefficace, mais à la différence des novices AAC, ils n'étaient pas en surcharge de travail et le nombre de collisions avec les piétons restait faible.

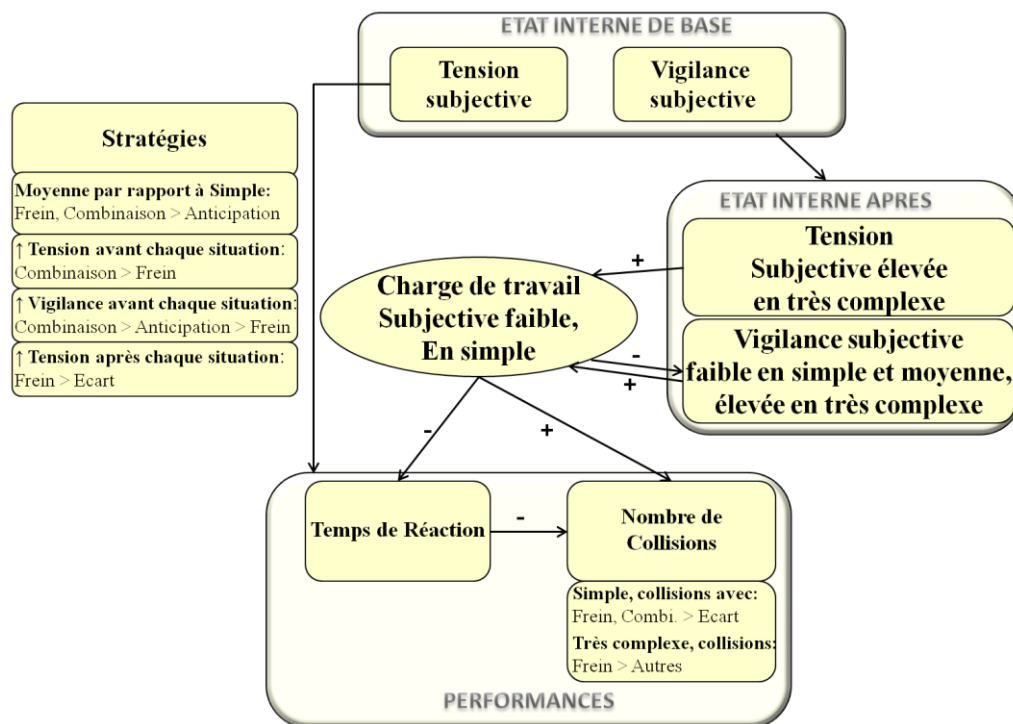


Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse.

Figure 74. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.

Les conducteurs expérimentés avaient un faible niveau de charge de travail subjective, notamment en situation simple, provoqué par un faible niveau de tension subjective et un niveau élevé de vigilance subjective après les situations simple et moyennement complexe. Contrairement aux conducteurs à la fin du permis probatoire, ils avaient donc un faible niveau de vigilance après la passation en situation moyennement complexe, probablement perçue comme étant facile par rapport à leurs compétences. Réciproquement, un faible niveau de charge de travail subjective entraînait un niveau élevé de vigilance subjective après chaque situation, notamment après la situation très complexe. Comme pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, de part leur expérience supplémentaire par rapport aux novices, ils cherchaient probablement à être davantage vigilants dans cette situation, étant conscients de la difficulté de la tâche (voir Figure 75).

Comme pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, leur faible niveau de charge de travail subjective provoquait un rallongement des Temps de Réaction, qui entraînaient un faible nombre de collisions. Et comme pour l'ensemble des autres groupes, le nombre de collisions était plus élevé lorsqu'ils adoptaient les stratégies de freinage et de combinaison en situation simple, et lorsqu'ils freinaient en situation très complexe. Comme pour les novices AAC, ils utilisaient davantage le freinage lorsque le niveau de tension subjective était élevé, bien que cette stratégie soit inefficace. Cependant, ils n'étaient pas pour autant surchargés.



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse.

Figure 75. Modèle obtenu pour les conducteurs expérimentés.

CHAPITRE 6 : Expérimentation 2 : données subjectives et physiologiques

1. Objectifs de l'expérimentation 2

Cette deuxième expérimentation étudiait les effets de la complexité de la situation de conduite et du niveau d'expérience sur les niveaux subjectif et objectif de la charge de travail des conducteurs. L'hypothèse est que des niveaux subjectif et objectif élevés de charge de travail devraient se manifester lorsque la situation de conduite devient trop complexe pour réaliser correctement la tâche de conduite, et ceci plus précocement pour les conducteurs ayant le moins d'expérience. Des effets modulateurs des niveaux subjectifs et objectifs de tension et de vigilance devraient également s'observer.

2. Méthodologie

2.1. Participants

Trente deux jeunes conducteurs (20 hommes et 12 femmes) étaient répartis en deux groupes en fonction de leur expérience de conduite. 16 conducteurs novices âgés de 18 ans ($M = 18$, $SD = 0$) ayant obtenu leur permis de conduire dans les deux derniers mois après un Apprentissage Traditionnel (AT), et 16 conducteurs âgés de 21 ans ($M = 21$, $SD = 0$) arrivant à plus ou moins 3 mois de la Fin des 3 ans de Permis Probatoire (FinPB). Le recrutement des participants s'est effectué en démarchant les auto-écoles, lycées, universités, IUT et villes aux alentours de Salon-de-Provence, ainsi qu'en posant des prospectus sur les véhicules de jeunes conducteurs. Les participants étaient sélectionnés en fonction des critères d'inclusion et ne devaient présenter aucun problème de santé qui puisse interférer avec les données physiologiques étudiées (voir Annexe 8, p 412). Un questionnaire d'informations générales était complété afin de s'assurer qu'ils pouvaient participer à l'expérimentation (voir Annexe 9, p 413-415). Chaque participant recevait une gratification de 60 € et signait une fiche d'information ainsi qu'un formulaire de consentement libre et éclairé avant leur participation à l'expérimentation (voir Annexes 10 et 11, p 416-417). Le protocole expérimental a été approuvé par le Comité d'Ethique et de Recherche (CERB) de l'IFSTTAR, ainsi que par le Comité de Protection des Personnes (CPP) Sud Méditerranée I (voir Annexes 12 et 13, p 418-421).

2.2. Matériel

2.2.1. *Simulateur de conduite*

L'expérimentation s'est déroulée sur le nouveau simulateur de conduite à base fixe SIDROH de Salon-de-Provence, équipé d'une architecture parallèle multi-acteurs pour la simulation du trafic (ARCHISIM) et d'une base de données provenant du logiciel SIM²-IFSTTAR (Espié, Gauriat, & Duraz, 2005). Le poste de conduite interactif consistait en l'habitable complet d'un véhicule (voir Figure 76). Des bus CAN étaient installés sur le simulateur afin d'enregistrer les valeurs en temps réel. La surface de projection des images (résolution de 30 Hz), située sur trois écrans devant le véhicule, avait un angle d'ouverture de 150° horizontalement et de 40° verticalement. Chaque écran avait une dimension de 1,80 × 1,35 m et une résolution de 1280 × 1024 pixels. L'écran central était positionné à 2,20 m du conducteur. Le véhicule avait une boîte de vitesses manuelle et les rétroviseurs n'étaient pas utilisés. Les valeurs d'accélération, de freinage et de direction du simulateur étaient celles d'un véhicule moyen.



Figure 76. Simulateur de conduite.

La salle d'expérimentation était divisée en deux, avec une partie réservée au simulateur et une autre réservée à l'expérimentateur qui interagissait avec les ordinateurs. Trois caméras filmaient respectivement le visage du conducteur, les pédales et les écrans présents devant le simulateur, afin de surveiller l'état du conducteur (bien-être et comportements produisant des artefacts) et la bonne application des consignes. Un babyphone installé à l'intérieur du simulateur permettait de communiquer avec le conducteur.

2.2.2. Situations de conduite

Les situations de conduites étaient identiques à celles utilisées dans la première expérimentation, à la différence près que tous les piétons étaient cachés par des arbres. Une ANOVA à mesures répétées suivie d'un test de Bonferroni a été réalisée sur les données de la première étude afin d'analyser l'effet du type de cache des piétons sur le nombre de collisions en fonction de la situation et de l'expérience. Aucun effet simple du cache n'était observé ($F(2,106) = .80$, *n.s*) mais un effet d'interaction significatif entre la situation et le cache ($F(4,212) = 7.45$, $p < .001$) révélait qu'en situation moyennement complexe, les collisions étaient plus nombreuses avec les piétons cachés derrière un abri bus qu'avec ceux cachés derrière un panneau d'affichage (voir Tableau 40).

Situations	Caches	Moyenne	Ecart-type
Simple	Panneau	0,23	0,42
	Arbre	0,16	0,37
	Abri bus	0,03	0,19
Moyennement complexe	Panneau	0,14	0,35
	Arbre	0,25	0,43
	Abri bus	0,44	0,50
Très complexe	Panneau	0,40	0,49
	Arbre	0,23	0,42
	Abri bus	0,30	0,46

Tableau 40. Nombre de collisions par situation en fonction du type de cache.

Le retour d'expérience des participants révélait également qu'ils étaient davantage surpris par les piétons cachés derrière les arbres. C'est la raison pour laquelle nous n'avons gardé que cette dernière configuration dans la deuxième expérimentation, ce qui permettait de privilégier l'effet de surprise lié à l'apparition des piétons plutôt que l'anticipation des piétons.

2.2.3. Mesures subjectives

Les mesures subjectives de charge de travail, tension et vigilance étaient réalisées par les mêmes questionnaires que ceux de la première expérimentation, i.e. NASA-TLX (charge de travail) et échelle de Thayer (tension et vigilance).

2.2.4. Mesures physiologiques

➤ Boîtier Biopac

L'enregistrement des signaux électriques s'effectuait par un boîtier Biopac MP36R, système d'acquisition de données (voir Figure 77).



Figure 77. Boîtier Biopac MP36R.

Les électrodes des différents dispositifs d'enregistrements transmettaient des signaux électriques relativement faibles qui subissaient des interférences. Un amplificateur intégré au boîtier permettait donc d'amplifier le signal brut afin d'optimiser son traitement postérieur. Le logiciel Acqknowledge 4.3 était utilisé pour choisir un gain d'amplification (rapport entre le signal de sortie et le signal d'entrée) relatif à chaque signal. Une fois les réglages établis, le logiciel enregistrait les signaux et permettait ensuite d'analyser les données recueillies.

➤ ElectroCardioGramme (ECG)

Le capteur d'effort respiratoire SS5LB disposé sur une ceinture (voir Figure 78) enregistrait les mouvements de l'abdomen reflétant les battements cardiaques. Ainsi, la fréquence cardiaque moyenne était prise en compte comme indicateur indirect de la charge de travail objective. La fréquence d'acquisition du signal était de 0,05 à 35 Hz, avec une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz. L'impédance (conductance du signal) était en-dessous de 5 kilo ohms ($k\Omega$).



Figure 78. Capteur d'effort respiratoire SS5LB.

➤ Activité ElectroDermale (EDA)

L'activité électrodermale était enregistrée à partir d'un capteur digital (voir Figure 79). Deux électrodes Ag-AgCl de 6 mm étaient placées sous les phalanges distales de l'index et du majeur de la main gauche (dermatome C7) dans le but de limiter les artefacts reliés à la préhension du volant (Clarion, 2009). La position des électrodes n'affectait pas les mouvements du volant et la main droite était disponible pour changer les vitesses. Un gel isotonique assurait la bonne conductance électrique entre la peau et les électrodes. Le signal représentait la sueur produite par les glandes sudoripares eccrines en cas de stress ou d'émotion. Le signal tonique enregistré était acquis à une fréquence d'échantillonnage de 2000 Hz avec un filtre passe-bande de 0 à 35 Hz. L'impédance était en-dessous de 5 kilo ohms ($k\Omega$).



Figure 79. Capteur digital d'activité électrodermale SS3LA.

➤ ElectroEncéphaloGramme (EEG)

Un système d'électroencéphalographie, comprenant un bonnet CAP100C équipé d'un montage d'électrodes selon le système international 10-20, enregistrait l'activité électrique cérébrale (voir Figure 80).



Figure 80. Système d'électroencéphalographie CAP100C.

L'activité électrique cérébrale n'ayant pas de latéralisation hémisphérique et le conducteur étant placé à gauche du véhicule, le côté gauche du scalp a été choisi pour effectuer l'enregistrement de manière accessible pour l'expérimentateur. Ainsi, les électrodes placées en frontal (F3) et en occipital (O1) permettaient d'enregistrer le signal électrique parcouru à partir du signal de référence placé sur le lobe de l'oreille gauche (A1), jusqu'à leurs positions en F3 et O1 (voir Figure 81). Un gel introduit à la surface de chaque électrode à l'aide d'une seringue permettait la conductance du signal entre les électrodes et le scalp, ainsi qu'entre l'électrode de référence et le lobe de l'oreille.

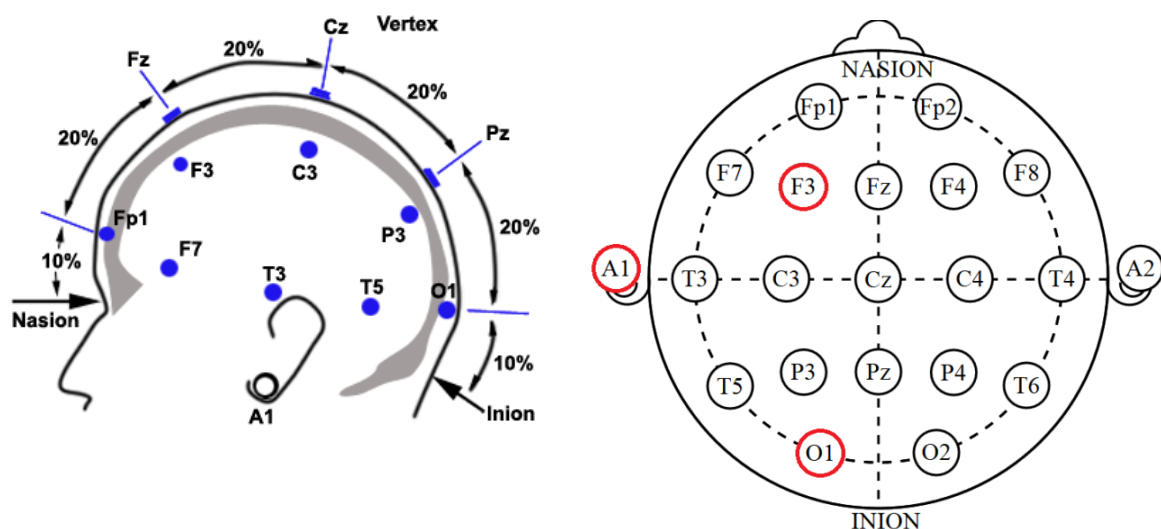


Figure 81. Position des électrodes.

Deux adaptateurs permettaient chacun de relier une électrode placée sur le scalp (F3 et O1) à l'électrode de référence (A1). Cette dernière était branchée à un adaptateur et était reliée à l'autre via un « pont » (voir Figure 82).

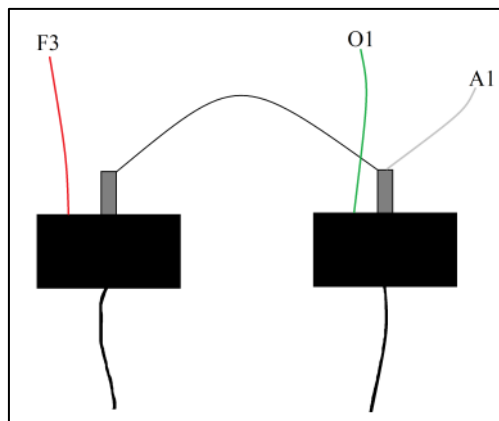


Figure 82. Schéma des adaptateurs EEG.

Le signal électrique était amplifié et enregistré à une fréquence d'échantillonnage de 500 Hz avec un filtre passe-bande de 5 à 35 Hz. L'impédance était majoritairement en-dessous de 10 kilo ohms (kΩ).

2.2.5. Mesures objectives de performance

Les mesures objectives de performance étaient identiques à celles recueillies pour la première expérimentation. Ainsi, durant les portions sans piétons, les performances étaient les Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP) et les écart-types de vitesse. Les stratégies compensatoires étaient la Position Latérale moyenne (en mm) et la vitesse moyenne (en km/h). Durant les portions avec piétons, pour l'ensemble des situations et des groupes de participants, une ANOVA à un facteur a révélé un effet significatif de l'ordre d'apparition des piétons sur le nombre de collisions avec les piétons ($F(2, 285) = 5.74, p < .001$). Ainsi, l'analyse post-hoc de Bonferroni montrait que le nombre de collisions était significativement plus élevé avec le premier piéton ($M = 0.29, SD = 0.46$) qu'avec les deuxième ($M = 0.12, SD = 0.33$) et troisième ($M = 0.13, SD = 0.34$). Ceci était probablement dû à un effet de surprise lors de l'apparition du premier piéton. Par conséquent, afin de minimiser l'effet de surprise du 1^{er} piéton et d'observer l'effet du contexte de la situation sur le comportement de conduite face aux piétons, seuls les 2^e et 3^e piétons ont été pris en compte dans les analyses. Les

performances observées étaient donc les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons, les Temps de Réaction et le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons étaient pris en compte.

2.3. Procédure

➤ Installation des participants

Les participants commençaient par lire et signer la fiche d'information relative à l'étude, le formulaire de consentement libre et éclairé, ainsi que le questionnaire d'informations générales. Ils étaient ensuite appareillés avec les trois outils d'enregistrements physiologiques (ECG, capteur digital d'EDA et EEG) avant de prendre place dans le simulateur de conduite. Ils réglaient alors leur siège à leur convenance en hauteur comme en longueur. Les câbles des outils d'enregistrement étaient ensuite branchés au boîtier Biopac disposé sur le siège arrière du conducteur, de manière à ce qu'aucun fil électrique ne perturbe la conduite du participant.

➤ Déroulement de l'étude

Les participants débutaient par un entraînement identique à celui de la première expérimentation afin de se familiariser avec les commandes du simulateur. Les trois situations de conduite (simple, moyennement complexe et très complexe) étaient ensuite présentées, avec des phases de repos de 11 minutes (6 min yeux ouverts et 5 min yeux fermés) avant et après chaque situation. Les enregistrements physiologiques étaient effectués durant les périodes de repos et durant les périodes d'activité de conduite. Des marqueurs d'évènements étaient appliqués manuellement en temps réel afin d'indiquer le moment d'apparition de chaque piéton dans le champ visuel du participant pendant les phases d'activité. Durant les périodes de repos et d'activité, d'autres marqueurs permettaient également d'indiquer les moments d'apparition et de fin des artefacts (e.g., toux, fortes inspiration, mouvements inadéquats et toute autre interférence du signal). L'échelle de Thayer était remplie avant et après chaque situation et le questionnaire NASA-TLX après chaque situation (voir Figure 83).

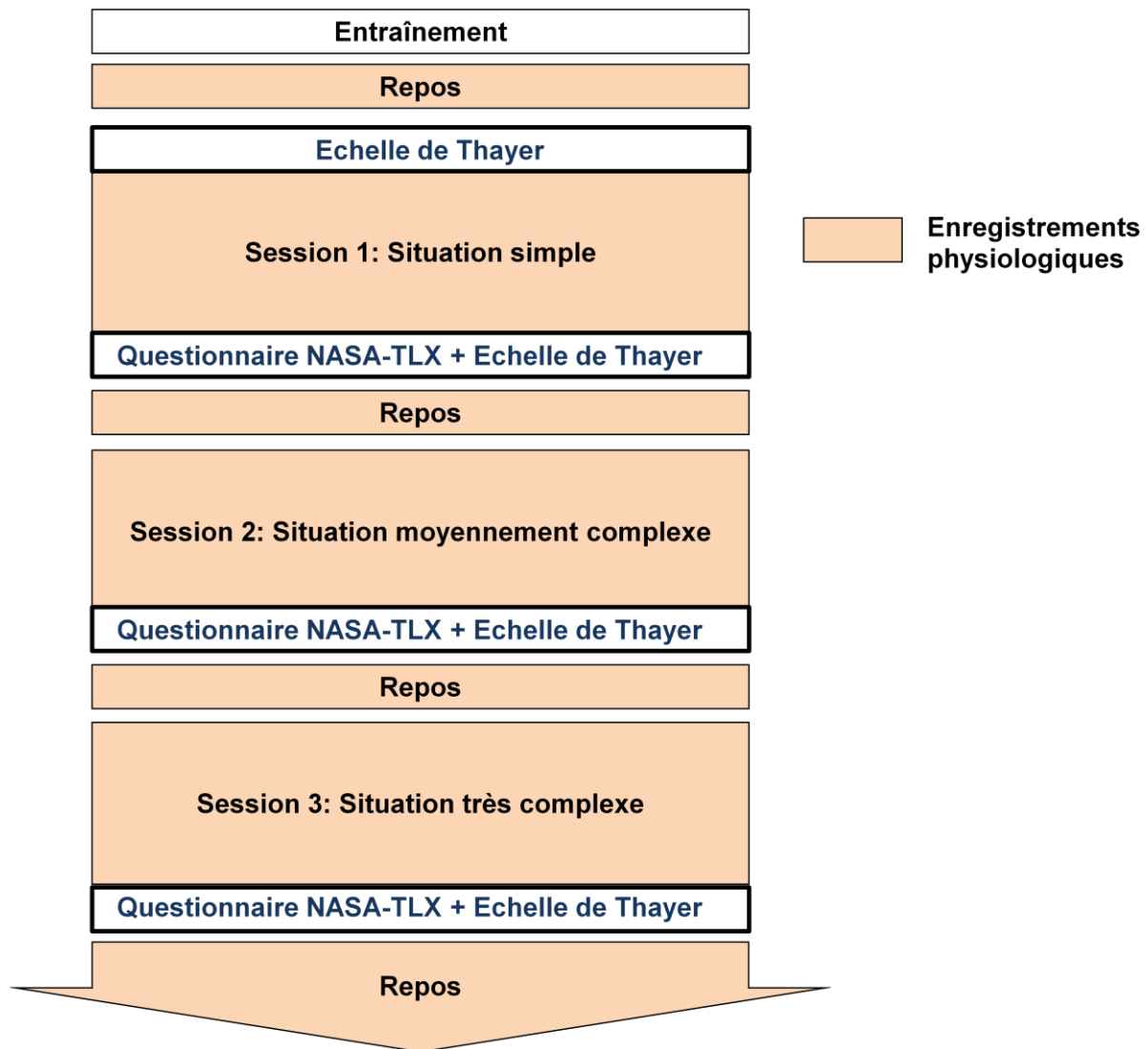


Figure 83. Procédure de l'expérimentation 2.

2.4. Analyse des données physiologiques

➤ *Données physiologiques analysées en fonction des portions avec vs. sans piétons*

La première minute de chaque période de repos et de chaque période d'activité de conduite était supprimée afin d'éliminer, d'une part, la période de stabilisation du signal, et d'autre part, la période d'activité de conduite durant laquelle les performances n'étaient pas observées (période de familiarisation). De plus, la dernière minute d'enregistrement (périodes de repos et d'activité) était également supprimée. L'effet de bord était ainsi évité, en supprimant les données du début correspondant au temps d'adaptation et en enlevant également les données de la fin souvent biaisées par l'impatience des participants à terminer.

Durant les portions sans piéton, les données physiologiques étaient analysées en prenant en compte le différentiel de fréquence cardiaque moyenne, d'activité électrodermale moyenne et du ratio EEG entre les périodes de repos et d'activité. Durant les portions avec piétons, les données physiologiques prises en compte étaient le différentiel de fréquence cardiaque moyenne, l'amplitude des pics de réponse électrodermale et le différentiel du ratio EEG.

➤ *Filtrage des signaux*

Des filtres digitaux à réponse impulsionnelle infinie (IIR) étaient appliqués aux différents signaux afin d'éliminer les artefacts les plus importants en fonction du temps de réponse de chaque signal.

Electrocardiogramme

La latence des réponses de l'électrocardiogramme manifestées par les battements cardiaques est d'environ 150 secondes (0.0067 Hz). De plus, les principaux artefacts à prendre en compte sont : la dérive de la ligne de base représentant le tracé observé du signal si le cœur n'a aucune activité électrique ($< .5\text{Hz}$), les artefacts dus aux mouvements (1-10Hz), le secteur et ses harmoniques (fondamental 50 ou 60Hz), et l'électromyogramme (25-100Hz). Sachant que l'acquisition du signal éliminait déjà les fréquences au-dessus de 35 Hz, un filtre passe bande haut fixé à 1 Hz était le compromis idéal pour nettoyer au mieux le signal.

Activité électrodermale

Contrairement au signal de la fréquence cardiaque, l'activité électrodermale a une latence de réponse de 10 secondes (0.10 Hz). Etant donné que l'enregistrement de base était de 0 à 35 Hz, un filtre passe bande bas fixé à 1 Hz était appliqué afin de ne laisser passer que les basses fréquences les plus représentatives.

Electroencéphalographie

Pour l'électro-encéphalogramme, l'enregistrement de base de 5 Hz à 35 Hz constituait la bande spectrale typique d'enregistrement donc aucun filtre n'était appliqué, malgré la possible

apparition d'un bruit blanc, i.e. densité spectrale de puissance identique pour toutes les fréquences. Il en était de même pour les ondes alpha, beta et theta qui ont été calculée.

Après l'application des filtres adaptés, un contrôle visuel était nécessaire afin d'enlever les artefacts préalablement identifiés par les marqueurs d'évènements. Lorsque ces artefacts apparaissaient sur l'ensemble des canaux, ils étaient manuellement supprimés. Cependant, lorsqu'ils apparaissaient uniquement sur un des canaux, ils étaient aplanis au moyen de la fonction mathématique « EndPoints », remplaçant la portion de courbe sélectionnée par la moyenne entre les deux points de la sélection.

➤ *Données physiologiques recueillies pour les analyses statistiques*

Electrocardiogramme

La fréquence cardiaque moyenne en battements par minute (BPM) était obtenue à partir du signal enregistré durant les périodes de repos et sur l'ensemble de chaque situation (portions avec et sans piétons comprises). Le différentiel de fréquence cardiaque entre la période d'activité de conduite et la période de repos la précédant pouvait ainsi être réalisé.

Activité électrodermale

L'activité électrodermale moyenne en microsiemens (μS) était obtenue à partir du signal tonique enregistré durant les périodes de repos et d'activité (portions avec et sans piétons comprises). Le différentiel d'activité électrodermale était donc effectué entre la période de repos et la période d'activité.

Pour l'identification des pics de réponse électrodermale spécifiques à l'apparition soudaine des piétons, différentes étapes étaient nécessaires.

Tout d'abord, à partir du signal tonique (deuxième courbe verte), i.e. niveau de conductance de la peau indiquant le tonus affectif de base, un signal phasique (première courbe rouge) était construit, i.e. réponses rapides de conductance de la peau indiquant les variations sur de courtes phases (voir Figure 84). Le signal phasique dérivé du signal tonique permettait ainsi d'identifier les réponses de conductance de la peau représentant des pics fixés à un minimum d'amplitude de $0.01 \mu S$, valeur prise en compte dans la littérature actuelle

(Braithwaite, Watson, Jones, & Rowe, 2013). Les pics en-dessous de 5% du maximum du seuil $0.01 \mu\text{S}$ étaient rejetés. La figure ci-dessous nous montre donc le signal phasique.

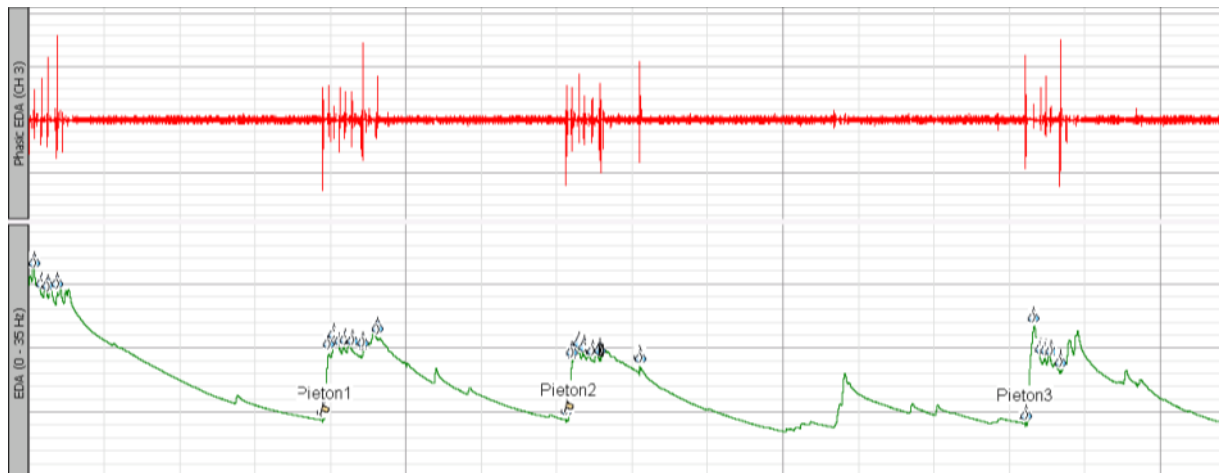


Figure 84. Signaux tonique et phasique de la réponse électrodermale.

Ensuite, les évènements « piétons » indiqués par des marqueurs permettaient d'identifier les pics reliés à ces évènements. Ainsi, l'amplitude maximale du premier pic survenu après l'apparition de chaque piéton dans le champ visuel était mesurée (voir Figure 85). La latence d'apparition des pics après l'évènement était établie entre 0 et 4 secondes. Si aucun pic n'était identifié dans ce laps de temps, la valeur d'amplitude du pic rapportée était de 0. A chaque apparition de piéton était donc associée une amplitude de pic de réponse électrodermale en microsiemens (μS).

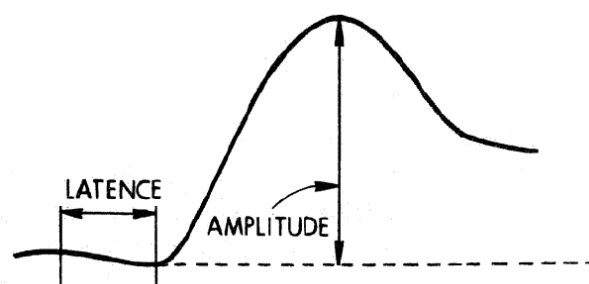


Figure 85. Exemple de réponse électrodermale (pic).

Electro-encéphalogramme

Pour calculer le ratio « (alpha + theta) / beta » par rapport au signal EEG natif, la puissance spectrale de chaque onde était utilisée en microvolts² (μV^2). Ainsi, plusieurs étapes ont été réalisées.

Tout d'abord, une transformée de Fourier était appliquée sur chacun des deux signaux enregistrés, correspondant à l'activité électro-encéphalographique respectivement en régions frontale et occipitale. Pour chaque signal, une première courbe apparaissait avec sa magnitude en μV .

Ensuite, chaque signal donné était modifié avec la formule suivante :

$$\boxed{(\text{Courbe 1 en } \mu V)^2 / \text{Fréquence d'échantillonnage pour la courbe 1}}$$

La nouvelle courbe obtenue (courbe 2) pour chaque signal indiquait ainsi la densité de puissance spectrale en $\mu V^2 / \text{Hz}$.

Enfin, la puissance spectrale en μV^2 de chaque onde était calculée en intégrant chaque signal en frontal et en occipital (courbe 2) sur sa bande de fréquence associée, i.e. alpha (8 à 13 Hz), beta (13 à 30 Hz) et theta (4 à 8 Hz). La puissance spectrale moyenne de chaque onde (alpha, beta et theta) était calculée sur la base des valeurs obtenues en frontal et en occipital.

Le ratio EEG (« (alpha + theta) / beta ») était calculé durant les périodes de repos et d'activité (portions avec et sans piétons comprises). Le différentiel du ratio EEG était donc effectué entre la période de repos et la période d'activité.

2.5. Analyses statistiques

Comme pour la première expérimentation, la première minute de chaque situation était considérée comme une familiarisation à la tâche. Par conséquent, aucune donnée n'était enregistrée durant cette durée. Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées en fonction des portions sans vs. avec piétons. La fiabilité des questionnaires ainsi que les effets d'ordre étaient préalablement vérifiés.

Pour les portions sans piétons et celles avec piétons, l'ensemble des effets indirects possibles a tout d'abord été testé avec le test de Sobel. La significativité statistique de l'ensemble des analyses était fixée à $p < .05$. Ensuite, les analyses de régression polynomiale choisies dans la première expérimentation ne pouvaient pas s'effectuer en prenant en compte l'effet simple de la variable indépendante « Expérience ». En effet, cette variable ne comprenant que deux modalités, i.e. « novices ayant suivi un apprentissage traditionnel » vs. « conducteurs à la fin du permis probatoire », aucun effet de second ordre n'était envisageable. Cependant, afin de pouvoir prendre en considération l'effet non linéaire de second ordre pour certaines variables

indépendantes, notamment la variable « Situation » comprenant trois modalités, les analyses ont été réalisées en deux étapes.

Premièrement, une analyse de l'effet simple de l'expérience sur chacune des variables dépendantes a été effectuée, au moyen de t de Student pour groupes indépendants.

Deuxièmement, une analyse de régression polynomiale de second ordre (pas à pas descendante) sur des données standardisées a été menée en enlevant l'effet simple de l'expérience, et tout en préservant les effets d'interaction entre l'expérience et les autres variables indépendantes. La part de variance de l'effet simple de l'expérience ne se reflète donc pas dans l'analyse de régression polynomiale, mais son impact est tout de même en partie appréhendé avec les effets d'interaction. Les analyses post-hoc étaient ensuite réalisées avec des t de Student pour groupes indépendants pour des comparaisons par paires, et avec des régressions linéaires simples pour l'effet d'une variable sur une autre dans chaque condition.

2.5.1 Portions sans piétons

La première analyse de régression polynomiale testait ainsi le plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation : Simple vs. Moyennement complexe vs. Très complexe) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). La variable dépendante était la charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons.

La seconde analyse testait le plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation : Simple vs. Moyennement complexe vs. Très complexe) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). La variable dépendante était le différentiel de la fréquence cardiaque moyenne.

La troisième analyse suivait le plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail

subjective attribuée aux portions sans piétons) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne). La variable dépendante était la tension subjective après chaque situation.

La quatrième analyse suivait le plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne). La variable dépendante était le différentiel de l'activité électrodermale moyenne.

La cinquième analyse portait sur la vigilance subjective après chaque situation comme variable dépendante et suivait un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne).

La sixième analyse portait sur le différentiel du ratio « (alpha + theta) / beta » comme variable dépendante et suivait un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne).

Les quatre dernières analyses suivaient le plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Les variables dépendantes étaient respectivement la vitesse moyenne, l'écart-type de la vitesse, la Position Latérale moyenne, et la Déviation Standard de la Position Latérale (SDLP).

Afin d'identifier le seuil de surcharge à la fois en fonction de l'expérience et de la complexité de la situation, des analyses complémentaires ont été menées. Ainsi, des régressions simples ont testé l'effet de la charge de travail subjective et du différentiel de la fréquence cardiaque moyenne sur l'écart-type de la vitesse et sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation.

2.5.2 Portions avec piétons

La première analyse était un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 4 (Stratégies: freinage vs. écart vs. combinaison du freinage et de l'écart vs. anticipation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel du ratio (alpha + theta) / beta). La variable dépendante était la charge de travail subjective attribuée aux piétons.

La seconde analyse était un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 4 (Stratégies: freinage vs. écart vs. combinaison du freinage et de l'écart vs. anticipation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel du ratio (alpha + theta) / beta). La variable dépendante était le différentiel de fréquence cardiaque moyenne.

La troisième analyse suivait un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant). La variable dépendante était les stratégies (freinage, écart, combinaison du freinage et de l'écart, et anticipation).

La quatrième analyse était basée sur un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel du ratio (alpha + theta) / beta). La variable dépendante était les Temps de Réaction (TR) lors de l'apparition des 2^e et 3^e piétons.

La dernière analyse était basée sur un plan expérimental partiellement croisé 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de fréquence cardiaque moyenne) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel du ratio (alpha + theta) / beta) \times 4

(Stratégies) \times 1 (TR). La variable dépendante était le nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons.

Afin d'identifier le seuil de surcharge à la fois en fonction de l'expérience et de la situation, des analyses complémentaires ont été menées. Ainsi, des régressions simples de l'effet de la charge de travail subjective et du différentiel de fréquence cardiaque moyenne ont été réalisées sur les TR et le nombre de collisions, pour chaque groupe dans chaque situation.

2.5.3 Niveau interne d'activation avant et après chaque situation

Le niveau d'activation était analysé par des corrélations (r de Bravais Pearson) entre les niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de vigilance, dans les deux conditions avant et après chaque situation.

3. Résultats

3.1. Fiabilité des questionnaires et effets d'ordre

Fiabilité des questionnaires

Le questionnaire NASA-TLX était homogène par rapport à l'ensemble de ses six dimensions (alpha de Cronbach standardisé = .84). Les coefficients r de Bravais et Pearson ont montré que la charge de travail subjective totale (variable latente) était significativement corrélée avec chacune des six dimensions qui la composaient, rendant le questionnaire NASA-TLX fiable (Exigences Mentales : $r = .83$, $p < .001$, Exigences Physiques : $r = .83$, $p < .001$, Exigences Temporelles : $r = .79$, $p < .001$, Performance : $r = .45$, $p < .001$, Effort : $r = .86$, $p < .001$, Frustration : $r = .73$, $p < .001$).

L'échelle de Thayer était également homogène concernant les items composant chacune des quatre dimensions (HA: alpha de Cronbach standardisé = .82; GA: alpha de Cronbach standardisé = .93; GD: alpha de Cronbach standardisé = .58; DS: alpha de Cronbach standardisé = .86). Les r de Bravais-Pearson ont également attesté de la fiabilité de l'échelle de Thayer (voir Tableau 41).

Tableau 41. Corrélations r de Bravais-Pearson entre chaque dimension et chaque item de l'échelle de Thayer.

	Activation Elevée	Activation Générale	Désactivation Générale	Désactivation Sommeil
Mal à l'aise	.83 **			
Inquiet	.79 **			
Enervé	.50 **			
Tendu	.81 **			
Crispé	.88 **			
Actif		.89 **		
Energique		.92 **		
Dynamique		.90 **		
La pêche		.85 **		
En forme		.87 **		
Indifférent			.51 *	
Calme			.68 **	
Détendu			.73 **	
Tranquille			.60 **	
Silencieux			.50 *	
Endormi				.86 **
Fatigué				.78 **
Attentif				.68 **
Somnolent				.83 **
Eveillé				.86 **

Note : * $p < .01$; ** $p < .001$

Effets d'ordre

Durant les portions sans piétons, l'ordre de présentation des situations avait un effet significatif sur la charge de travail subjective ($F(5, 90) = 2.86, p < .05$), la vitesse moyenne ($F(5, 90) = 2.72, p < .05$) et les SDLP ($F(5, 90) = 4.97, p < .001$). Ainsi, la charge de travail subjective était plus faible pour l'ordre « très complexe, moyenne, simple » que pour l'ordre « moyenne, simple, très complexe » (voir Tableau 42). La vitesse moyenne était plus faible pour l'ordre « très complexe, moyenne, simple » que pour l'ordre « simple, moyenne, très complexe » (voir Tableau 42). Enfin, les SDLP étaient globalement plus élevées pour l'ordre « très complexe, simple, moyenne » que pour les autres ordres, bien qu'il n'y avait pas de différence avec l'ordre « moyenne, très complexe, simple » (voir Tableau 42). Ces effets d'ordre seront donc à prendre en compte afin de nuancer les résultats obtenus par la suite.

Tableau 42. Charge de travail subjective, vitesse moyenne et SDLP en fonction de l'ordre de présentation des situations.

Ordre	Charge de travail subjective <i>M (SD)</i>	Vitesse moyenne <i>M (SD)</i>	SDLP <i>M (SD)</i>
SMT	8.96 (2.96)	89.73 (12.00)	303.18 (109.29)
STM	7.52 (3.01)	84.38 (5.84)	260.79 (73.97)
MST	10.04 (3.11)	84.21 (4.34)	274.40 (98.99)
MTS	8.12 (2.01)	89.01 (2.74)	324.70 (107.79)
TSM	9.13 (2.28)	86.16 (7.30)	427.78 (140.43)
TMS	7.08 (2.39)	82.36 (5.90)	279.50 (75.01)

Note : S = Simple ; M = Moyenne ; T = Très complexe.

En revanche, l'ordre de présentation des situations n'avait pas d'effet sur le niveau objectif de charge de travail (Différentiel de Fréquence Cardiaque moyenne : $F(5, 90) = .77, n.s$), ni sur l'écart-type de la vitesse ($F(5, 90) = .46, n.s$), et ni sur la position latérale moyenne ($F(5, 90) = 2.24, n.s$).

Durant les portions avec piétons, l'ordre de présentation des situations n'avait pas d'effet sur la charge de travail subjective ($F(5, 150) = 1.71, n.s$), ni sur les stratégies d'évitement des piétons ($F(5, 150) = .79, n.s$), ni sur les TR ($F(5, 150) = 1.57, n.s$), et ni sur le nombre de collisions ($F(5, 150) = 1.77, n.s$).

Concernant l'état interne durant l'ensemble des portions avec et sans piétons, l'ordre de présentation des situations avait un effet significatif sur la tension subjective avant chaque

situation ($F(5, 90) = 3.73, p < .01$), sur l'amplitude maximale des pics de réponse électrodermale ($F(5, 282) = 5.29, p < .001$), sur la tension subjective après chaque situation ($F(5, 90) = 4.45, p < .01$), et sur le ratio des ondes EEG avant chaque situation ($F(5, 90) = 3.10, p < .05$).

Ainsi, la tension subjective avant chaque situation était plus faible avec l'ordre « très complexe, moyenne, simple » qu'avec les ordres « simple, moyenne, très complexe » et « simple, très complexe, moyenne » (voir Tableau 43).

L'amplitude des pics de réponse électrodermale était plus faible pour l'ordre « simple, très complexe, moyenne » que pour les ordres « moyenne, simple, très complexe » et « très complexe, moyenne, simple » (voir Tableau 43).

Le niveau physiologique de tension lors des portions avec piétons était donc plus élevé quand la situation moyenne ou très complexe était présentée en premier (voir Tableau 43).

La tension subjective après chaque situation était plus élevée pour l'ordre « simple, moyenne, très complexe » que pour les ordres « moyenne, très complexe, simple » et « très complexe, moyenne, simple » (voir Tableau 43).

La vigilance au niveau physiologique était plus élevée pour l'ordre « moyenne, simple, très complexe » que pour l'ordre « moyenne, très complexe, simple » (voir Tableau 43).

Tableau 43. Tension subjective avant, pics de réponse électrodermale, tension subjective après et ratio EEG avant en fonction de l'ordre de présentation des situations.

Ordre	Tension subjective avant <i>M (SD)</i>	Pics de réponse électrodermale <i>M (SD)</i>	Tension subjective après <i>M (SD)</i>	Ratio EEG avant <i>M (SD)</i>
SMT	8.39 (3.35)	6.66 (2.37)	8.00 (3.20)	5.91 (2.21)
STM	8.22 (2.13)	4.82 (2.57)	7.61 (2.38)	4.75 (3.17)
MST	7.39 (2.72)	7.67 (5.36)	7.67 (3.48)	3.89 (2.32)
MTS	5.58 (.90)	5.76 (3.68)	5.17 (.58)	6.96 (2.89)
TSM	7.42 (3.60)	6.97 (1.88)	6.17 (2.44)	4.80 (1.40)
TMS	5.6 (1.33)	7.96 (4.55)	5.17 (.51)	4.66 (1.63)

Note : S = Simple ; M = Moyenne ; T = Très complexe.

L'ordre de présentation des situations n'avait pas d'effet sur l'amplitude moyenne d'activité électrodermale avant chaque situation ($F(5, 90) = 1.49, n.s$), ni sur le différentiel de l'amplitude moyenne d'activité électrodermale ($F(5, 90) = 1.42, n.s$), ni sur la vigilance subjective avant chaque situation ($F(5, 90) = 1.22, n.s$), ni sur le différentiel du ratio EEG ($F(5, 90) = .39, n.s$), et ni sur la vigilance subjective après chaque situation ($F(5, 90) = 1.22, n.s$).

3.2. Portions sans piétons

3.2.1. Charge de travail globale attribuée aux portions sans piétons

L'ensemble des prédicteurs des données subjectives et physiologiques de la charge de travail était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la charge, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 86). Une corrélation entre les données subjectives et physiologiques de la charge de travail était ensuite réalisée.

- **Données subjectives**

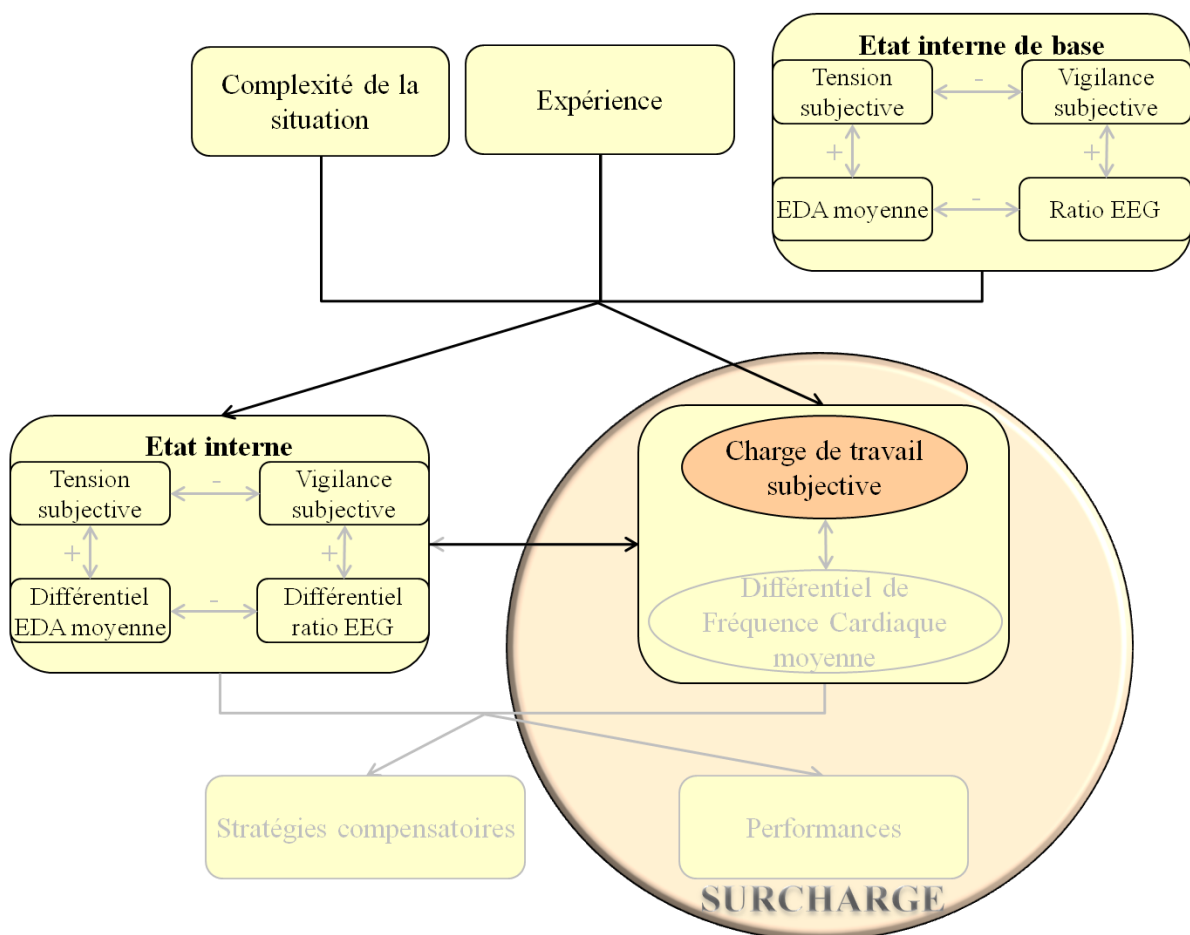


Figure 86. Prédicteurs de la charge de travail subjective.

Test de Sobel : effets indirects

La tension subjective avant chaque situation influençait la charge de travail subjective *via* la tension subjective après chaque situation ($z = 3.30, p < .001$). En effet, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .60, p < .001$), qui à son tour provoquait un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .44, p < .001$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur la charge de travail subjective (voir Tableau 67, Annexe 14, p 422). Par soucis de concision, la majorité des tableaux de la deuxième expérimentation indiquant les effets indirects sont présentés en annexes.

T de Student : effet simple de l'expérience

L'effet simple de l'expérience sur la charge de travail subjective était non significative ($t(94) = .22, n.s$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de charge de travail subjective étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 26.50% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 44). Dans la partie résultat de cette deuxième expérimentation, par soucis de concision, l'ensemble des résultats présenté dans les tableaux n'est pas détaillé par la suite. Ainsi, les effets simples significatifs ne sont pas présentés lorsqu'ils apparaissent en interaction avec la situation, l'expérience ou encore les stratégies (variables catégorielles), ou lorsqu'ils apparaissent en interaction avec ces variables catégorielles sans pour autant avoir d'effet sur la variable dépendante en fonction des modalités de la variable catégorielle. De plus, certains effets significatifs donnent lieu à des post-hoc non significatifs, l'effet venant probablement de variances partagées avec d'autres facteurs de par le nombre élevé de facteurs. Ces effets ne sont donc pas présentés ici.

Tableau 44. Prédicteurs de charge, tension et vigilance.

Variables Indépendantes	Variables dépendantes		Charge de travail subjective		Différentiel de Fréquence Cardiaque	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire		
Situation (Sit)	.26	-.17	.12	.14		
Tension subjective avant (TSav)			.60 **	-.32 *		
Vigilance subjective avant (VSav)	.27	-.46	-.03	.11		
Activité Electrodermale avant (EDAav)	.05	-.47 **	.15	.58		
Ratio EEG avant (EEGav)	-.21	-.01	.36 **	-.44 *		
Tension subjective après (TSap)	.39 **	-1.51	-.72 *	1.67 **		
Vigilance subjective après (VSap)	-.42	.31	-.27	.47		
Différentiel de l'EDA (EDA)	-.35	.68	.30 **	-1.15		
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.84	-2.99	-1.35	3.64		
Interaction Exp * Sit	.20 *		-.20 *			
Interaction Exp * TSav	.15		-.13			
Interaction Exp * VSav	.01		.16			
Interaction Exp * EDAav	-.41 *		.25			
Interaction Exp * EEGav	-.07		-.01			
Interaction Exp * TSap	-.08		.17			
Interaction Exp * VSap	-.10		.52 **			
Interaction Exp * EDA	.08		-.03			
Interaction Exp * EEG	.43		-1.13			
Interaction Sit * TSav	.09	-.32	-.08	-.21		
Interaction Sit * VSav	-.06	.03	.25	-.20		
Interaction Sit * EDAav	-.02	.05	-.21	-.25		
Interaction Sit * EEGav	-.15	.08	-.17	.51 **		
Interaction Sit * TSap	.03	1.34	.16	-1.51 **		
Interaction Sit * VSap	.09	.08	.25 *	-.57		
Interaction Sit * EDA	.20 *	-.77	.31	.89		
Interaction Sit * EEG	-.59	3.70	.30	-5.43		
Interaction TSav * VSav	-.14	.47	.31 **	-.09		
Interaction TSap * VSap	-.09	-.03	-.20	.21		
Interaction EDAav * EEGav	.07	.01	.06	-.13		
Interaction EDA * EEG	1.97	-.87	-1.80	1.02		

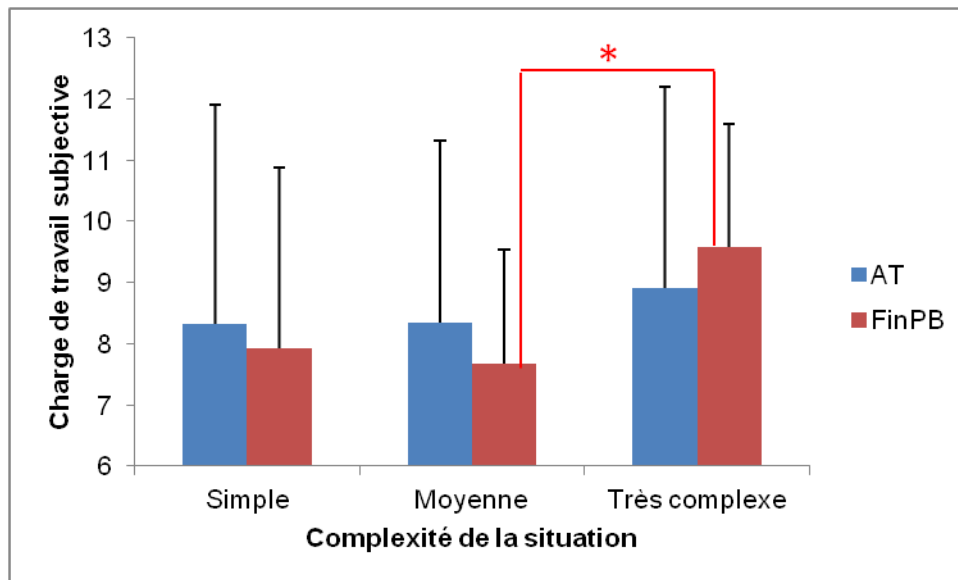
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de la tension subjective après chaque situation augmentait significativement la charge de travail subjective (effet linéaire : $\beta = .39$, $p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience × Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = .20, p < .05$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel de la conduite, les scores de charge de travail subjective ne variaient pas significativement entre les situations simple ($M = 8.32, SD = 3.59$), moyenne ($M = 8.34, SD = 2.97$) et très complexe ($M = 8.90, SD = 3.30$). Concernant les conducteurs à la fin du permis probatoire, leurs scores étaient plus élevés en situation très complexe ($M = 9.57, SD = 2.02$) qu'en situation moyennement complexe ($M = 7.67, SD = 1.87$), avec aucune différence entre la situation simple ($M = 7.92, SD = 2.97$) et les autres (voir Figure 87).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 87. Charge de travail subjective pour chaque groupe dans chaque situation.

L'interaction Expérience × Activité électrodermale moyenne avant avait également un effet linéaire significatif ($\beta = -.41, p < .05$). En effet, pour les novices avec apprentissage traditionnel, l'activité électrodermale moyenne avant chaque situation n'avait aucun effet sur la charge de travail subjective ($\beta = .08, n.s$) tandis que pour les conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire, la hausse de l'activité électrodermale avant chaque situation diminuait la charge de travail subjective ($\beta = -.30, p < .05$).

- **Données physiologiques : Différentiel de la Fréquence Cardiaque moyenne**

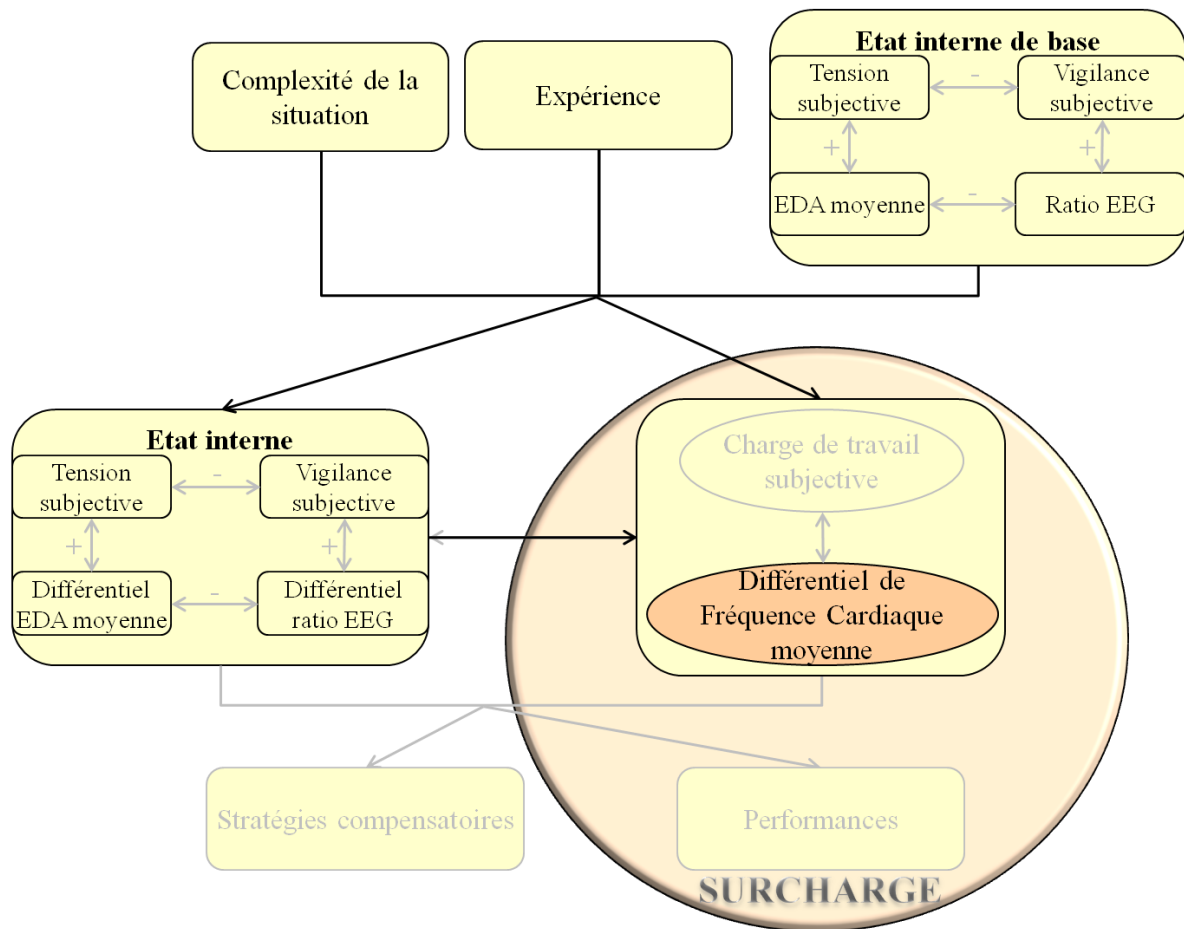


Figure 88. Prédicteurs du différentiel de fréquence cardiaque moyenne.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur le différentiel de fréquence cardiaque (voir Tableau 68, Annexe 14, p 423).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet significatif sur le différentiel de fréquence cardiaque ($t(94) = 3.66$, $p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel ($M = 4.81$, $SD = 8.52$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = -1.12$, $SD = 7.29$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens du différentiel de la fréquence cardiaque étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 41.65% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 44).

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait le différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = .60, p < .001$), et le diminuait avec un effet non linéaire ($\beta = -.32, p < .05$).

La hausse du différentiel d'activité électrodermale moyenne augmentait le différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = .30, p < .001$).

A l'inverse, la hausse de tension subjective après chaque situation diminuait le différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = -.61, p < .01$), et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = 1.81, p < .001$).

➤ Effets d'interaction principaux significatifs

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.20, p < .05$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le différentiel de fréquence cardiaque moyenne était plus élevé en situation simple qu'en situation très complexe avec un effet tendanciel ($t(30) = 2.00, p = .05$), tandis qu'aucune différence n'était observée entre les situations concernant les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel (voir Tableau 45).

Tableau 45. Différentiel de fréquence cardiaque moyenne pour chaque groupe dans chaque situation.

	Simple, M (SD)	Moyenne, M (SD)	Très complexe, M (SD)
AT	3.12 (7.92)	4.10 (6.72)	7.20 (10.49)
FinPB	-.20 (5.09)	.89 (9.67)	-4.04 (5.72)

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = .52, p < .001$). Pour les novices avec apprentissage traditionnel, la hausse de vigilance subjective après chaque situation diminuait le différentiel de fréquence cardiaque moyenne ($\beta = -.29, p < .05$) tandis que pour les conducteurs en fin de permis probatoire, cela l'augmentait ($\beta = .29, p < .05$).

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .51, p < .001$). En situations simple et moyennement complexe, la hausse du ratio EEG avant chaque situation n'influait pas le différentiel de fréquence cardiaque moyenne (respectivement $\beta = .120, n.s$ et $\beta = .05, n.s$), tandis qu'il l'augmentait en situation très complexe ($\beta = .40, p < .05$).

- **Corrélation entre données subjectives et physiologiques**

La charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque moyenne n'étaient pas significativement corrélés ($r = -.03, n.s$).

Résumé

CHARGE DE TRAVAIL SUBJECTIVE (CTS)	
Facteurs entraînant une hausse de CTS	Facteurs entraînant une baisse de CTS
↑ Tension subjective avant => ↑ Tension subjective après	<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↑ Activité électrodermale avant
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> - CTS en situation très complexe > CTS en situation moyennement complexe	
DIFFERENTIEL DE FREQUENCE CARDIAQUE MOYENNE (DFC)	
Facteurs entraînant une hausse de DFC	Facteurs entraînant une baisse de DFC
↑ Tension subjective avant (linéaire)	↑ Tension subjective avant (non linéaire)
↑ Différentiel d'activité électrodermale	
↑ Tension subjective après (non linéaire)	↑ Tension subjective après (linéaire)
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↑ Vigilance subjective après	<i>Pour les novices :</i> ↑ Vigilance subjective après
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> DFC en situation simple > DFC en situation très complexe	
DFC des novices > DFC des conducteurs à la fin du permis probatoire	
Corrélation CTS – DFC : n.s	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

3.2.2. Tension après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs des données subjectives et physiologiques de la tension après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la tension, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 89). Une corrélation entre les données subjectives et physiologiques de la tension était ensuite réalisée.

- **Données subjectives**

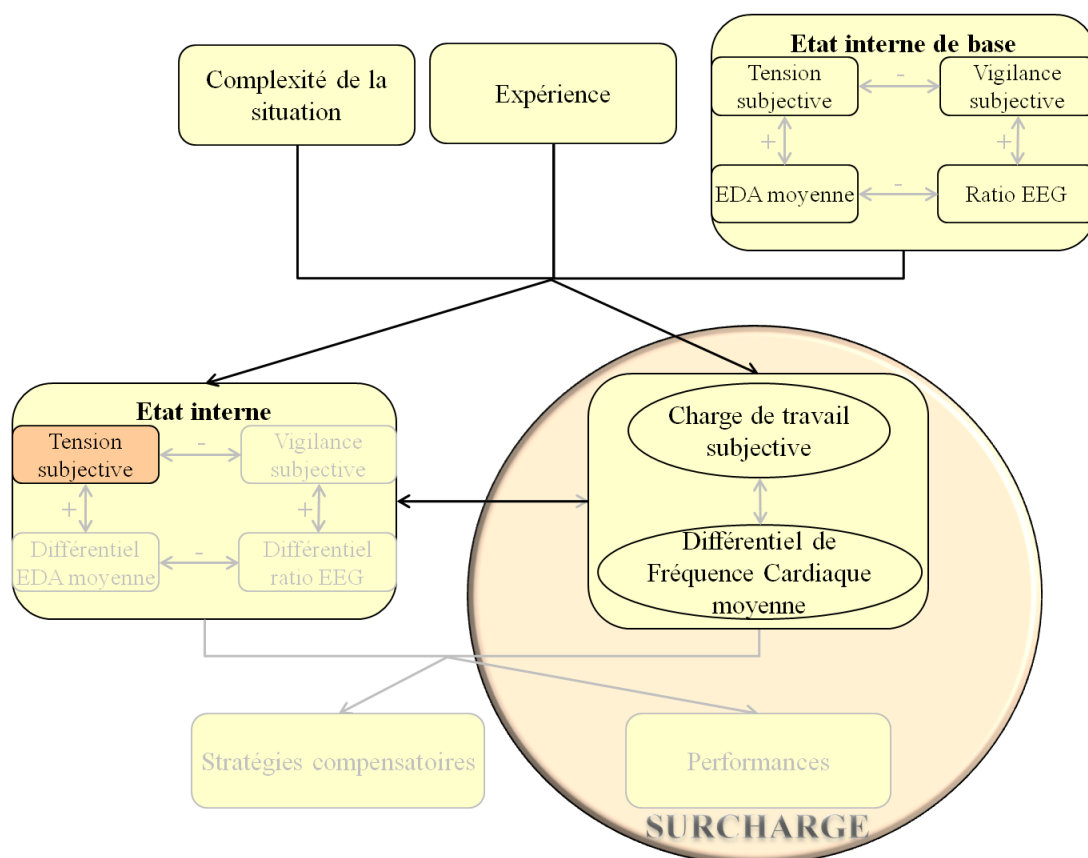


Figure 89. Prédicteurs de la tension subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun facteur étudié n'avait d'effet significatif indirect sur la tension subjective après chaque situation (voir Tableau 69, Annexe 14, p 424).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la tension subjective après chaque situation ($t(94) = 1.69, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de la tension subjective après chaque situation étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 48.19% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 46).

Tableau 46. Prédicteurs des niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de vigilance.

Variables indépendantes \ Variables dépendantes	Tension subjective après		Différentiel d'EDA		Vigilance subjective après		Différentiel du ratio EEG	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Situation (Sit)	-.05	.30	.36 **	.01	.35 **	.01	.18	-.25 *
Tension subjective avant (TSav)	.48 **	-.24	.25 *	-.08	-.03	-.23	.47	-.52
Vigilance subjective avant (VSav)	-.06	-.12	.24	-.04	.55 **	-.11	.14	.39
EDA avant (EDAav)	-.05	.37	.07	.34	-.10	.11	.25	.41
Ratio EEG avant (EEGav)	.08	-.06	.08	.07	-.01	-.22 *	.29	-.01
Interaction Exp * Sit	-.09		-.08		-.21 *		.20 *	
Interaction Exp * TSav	.01		.09		-.06		.20	
Interaction Exp * VSav	.12		-.03		.12		-.03	
Interaction Exp * EDAav	.33		.26		-.13		.34	
Interaction Exp * EEGav	.10		.05		-.22		.26	
Interaction Sit * TSav	-.34	-.46	-.05	-.09	-.18	.01	-.29 *	-.15
Interaction Sit * VSav	.09	-.08	.35 **	.06	.01	.09	.05	-.05
Interaction Sit * EDAav	-.06	-.01	-.13	.18	-.08	-.03	-.31	.13
Interaction Sit * EEGav	-.15	-.20	-.21 *	-.32 *	-.01	.38 **	-.21 *	.57
Interaction TSav * VSav	-.08	.39	.36 *	.11	-.18	-.20 *	.38	-.23
Interaction EDAav * EEGav	-.03	.21 *	-.38 **	.33	-.06	.48 **	-.14	-.45
Charge de travail subjective (CTS)	.32 **	-.00	.15	.43	-.14 *	.43 *	.01	.56
Différentiel Fréquence Cardiaque (DFC)	-.09	.67	.55 **	-1.61 **		-.55 **	-.17	-.24
Interaction Exp * CTS	-.05		-.05		-.19		-.01	
Interaction Exp * DFC	.14		-.21 *		.25		.13	
Interaction Sit * CTS	.11	-.09	.30 **	-.22 *	.07	-.23	.04	.23 *
Interaction Sit * DFC	.10	-.31	.36 **	1.23 **	-.02	-.03	.01	-.08
Interaction TSav * CTS	.18 *	-.11	.18	-.01	-.08	.33	.11	.33
Interaction VSav * CTS	-.03	.10	-.21 *	-.23	.09	-.40 *	-.08	-.61
Interaction TSav * DFC	-.02	.76	.16	-.59 **	-.36	.72	-.02	.25 *
Interaction VSav * DFC	.07	-.49	.22	.96 **	-.02	.29 *	-.05	-.14
Interaction EDAav * CTS	.20	.07	-.11	-.54 **	-.24 *	-.50 *	-.06	-.36
Interaction EEGav * CTS	.14	.25	.07	.31 *	-.04	.02	.01	-.32
Interaction EDAav * DFC	.29	-.17 *	.33 *	-.76	-.06	.37 **	-.04	-.05
Interaction EEGav * DFC	.29	-.21	.33 *	-.51	-.08	-.35	-.08	-.15

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .48, p < .001$).

De plus, la hausse de la charge de travail subjective augmentait également la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .32, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

Aucun effet d'interaction entre les variables catégorielles et les variables continues n'était observé.

- **Données physiologiques : Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA) moyenne**

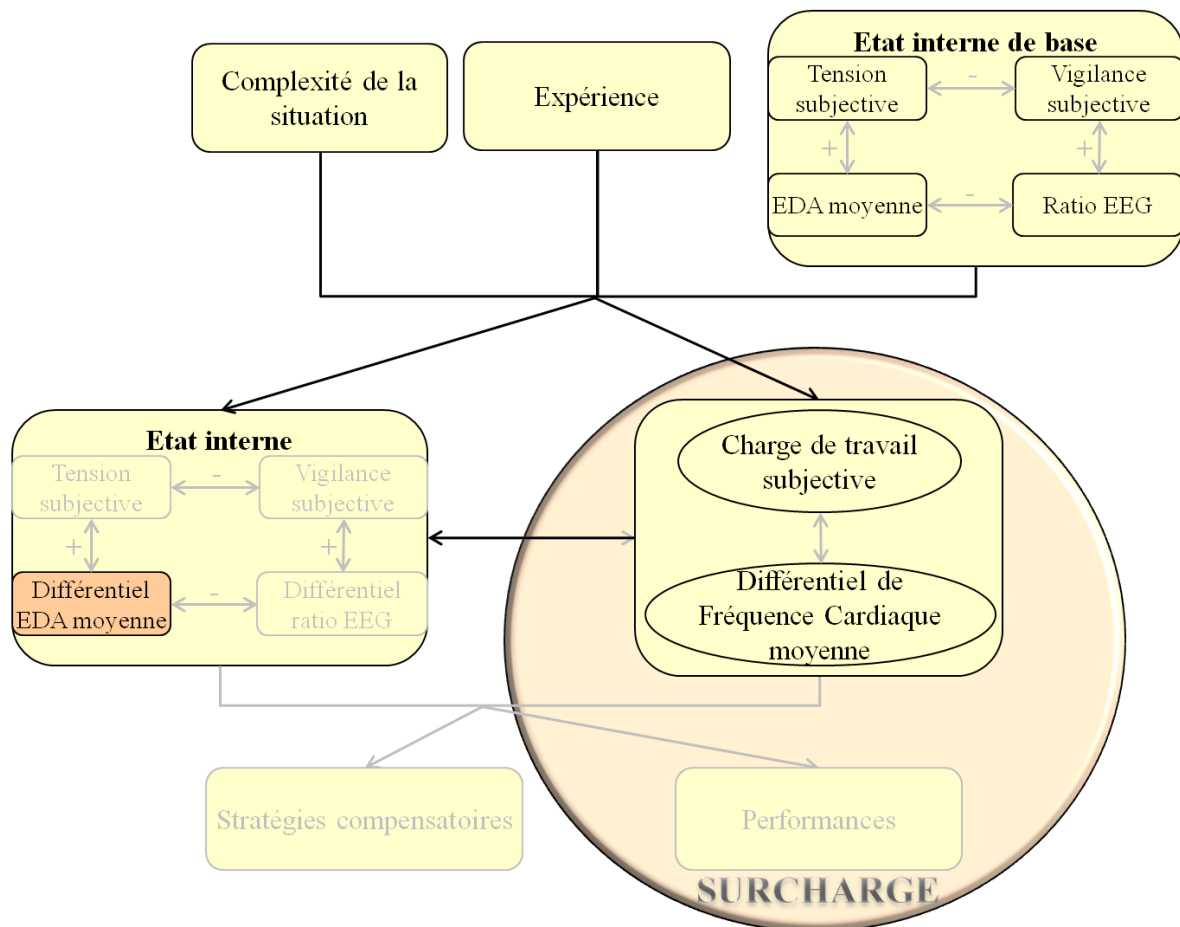


Figure 90. Prédicteurs du différentiel d'activité électrodermale moyenne.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun des facteurs étudiés n'avait d'effet significatif indirect sur le différentiel de l'activité électrodermale (voir Tableau 70, Annexe 14, p 424).

T de Student : effet simple de l'expérience

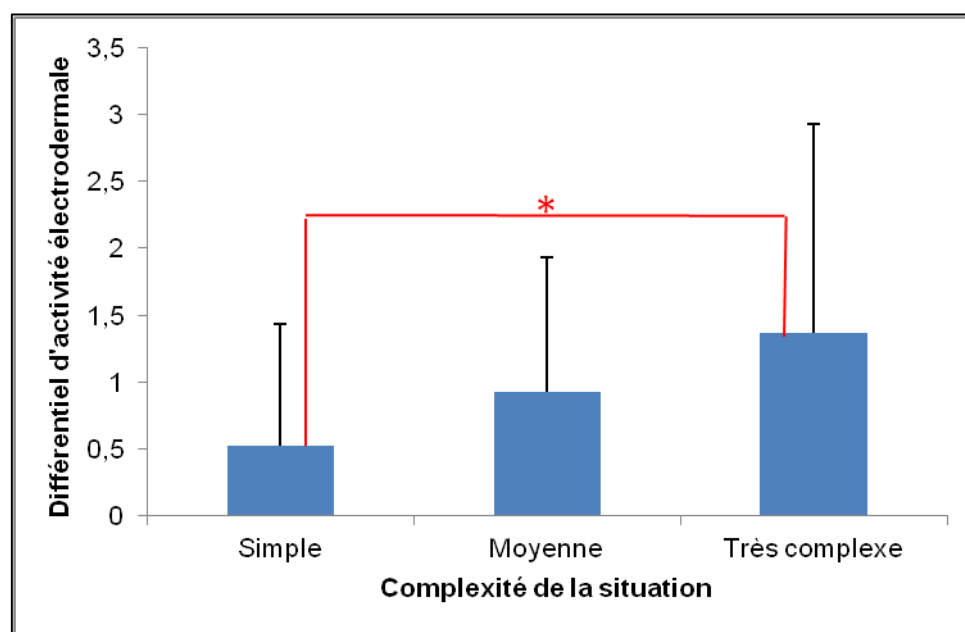
L'expérience avait un effet significatif sur le différentiel d'activité électrodermale ($t(94) = 3.36, p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel ($M = 1.34, SD = 1.45$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = .54, SD = .79$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens du différentiel d'activité électrodermale après chaque situation étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 48.08% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 46).

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de la complexité de la situation augmentait le différentiel d'activité électrodermale (effet linéaire : $\beta = .36, p < .001$), avec des scores plus élevés en situation très complexe ($M = 1.36, SD = 1.56$) qu'en situation simple ($M = .53, SD = .90$). Aucune différence entre la situation moyennement complexe ($M = .92, SD = 1.00$) et les autres situations n'était observée (voir Figure 91).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 91. Différentiel d'activité électrodermale en fonction de la situation.

La hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait le différentiel d'activité électrodermale avec un effet linéaire ($\beta = .25, p < .05$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque moyenne avait un effet linéaire et non linéaire significatif (respectivement : $\beta = .36, p < .001$ et $\beta = 1.23, p < .001$). En situations moyennement complexe et très complexe, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait le différentiel d'activité électrodermale avec un effet non linéaire (respectivement $\beta = -.41, p < .05$ et $\beta = -.57, p < .05$), tandis qu'en situation simple, aucun effet n'était observé ($\beta = .08, n.s$).

- **Corrélation entre données subjectives et physiologiques**

La tension subjective après chaque situation et le différentiel d'activité électrodermale était positivement corrélés ($r = .28, p < .01$), quand la tension augmentait le différentiel d'activité électrodermale aussi.

Résumé

TENSION SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (TSap)	
Facteurs entraînant une hausse de TSap	Facteurs entraînant une baisse de TSap
↑ Tension subjective avant	
↑ Charge de travail subjective	
DIFFERENTIEL D'ACTIVITE ELECTRODERMALE (EDA)	
Facteurs entraînant une hausse d'EDA	Facteurs entraînant une baisse d'EDA
↑ Tension subjective avant	<i>En situations moyennement complexe et très complexe :</i> ↑ Différentiel de fréquence cardiaque
EDA des novices > EDA de ceux à la fin du permis probatoire	
EDA en situation très complexe > EDA en situation simple	
Corrélation TSap – EDA : positive	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

3.2.3. Vigilance après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs des données subjectives et physiologiques de la vigilance après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la vigilance, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 92). Une corrélation entre les données subjectives et physiologiques de la vigilance était ensuite réalisée.

- **Données subjectives**

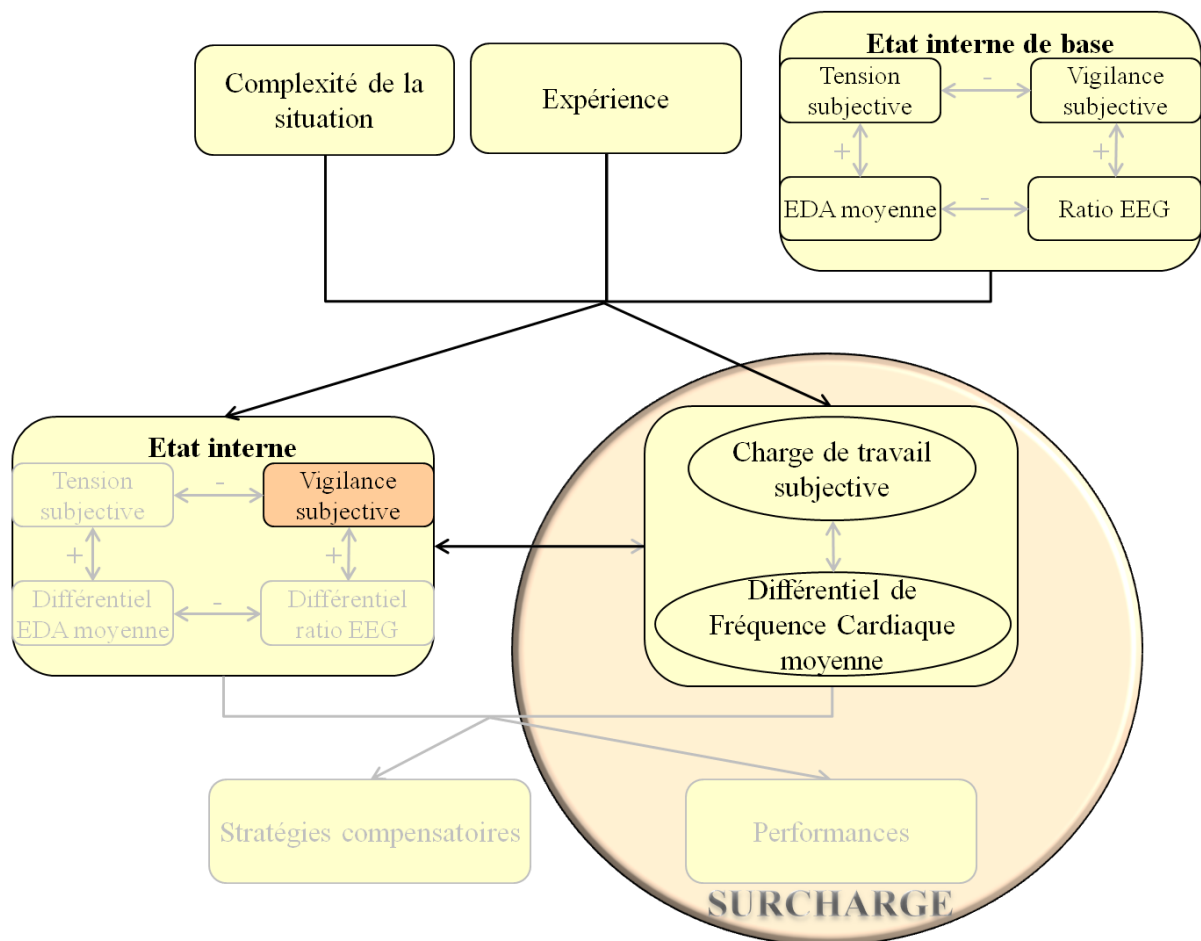


Figure 92. Prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

Parmi les facteurs étudiés, aucun n'avait d'effet significatif indirect sur la vigilance subjective après chaque situation (voir Tableau 71, Annexe 14, p 425).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait aucun effet significatif sur la vigilance subjective après chaque situation ($t(94) = -.71, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de la vigilance subjective après chaque situation étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 62.47% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 46).

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de vigilance subjective avant chaque situation augmentait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .55, p < .001$).

La hausse de la charge de travail subjective diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = -.14, p < .05$) et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = .43, p < .01$).

La hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -.55, p < .001$).

La hausse du ratio EEG avant chaque situation diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -.22, p < .05$).

➤ Effets d'interaction principaux significatifs

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.21, p < .01$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, le niveau subjectif de vigilance après chaque situation était plus élevé en situation très complexe qu'en situation simple, tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucune différence ne s'observait entre les situations (voir Tableau 47).

Tableau 47. Vigilance subjective après pour chaque groupe dans chaque situation.

	Simple, M (SD)	Moyenne, M (SD)	Très complexe, M (SD)
AT	.89 (.60)	1.18 (.78)	1.60 (1.08)
FinPB	1.26 (.70)	1.39 (.80)	1.36 (.54)

- **Données physiologiques : Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta**

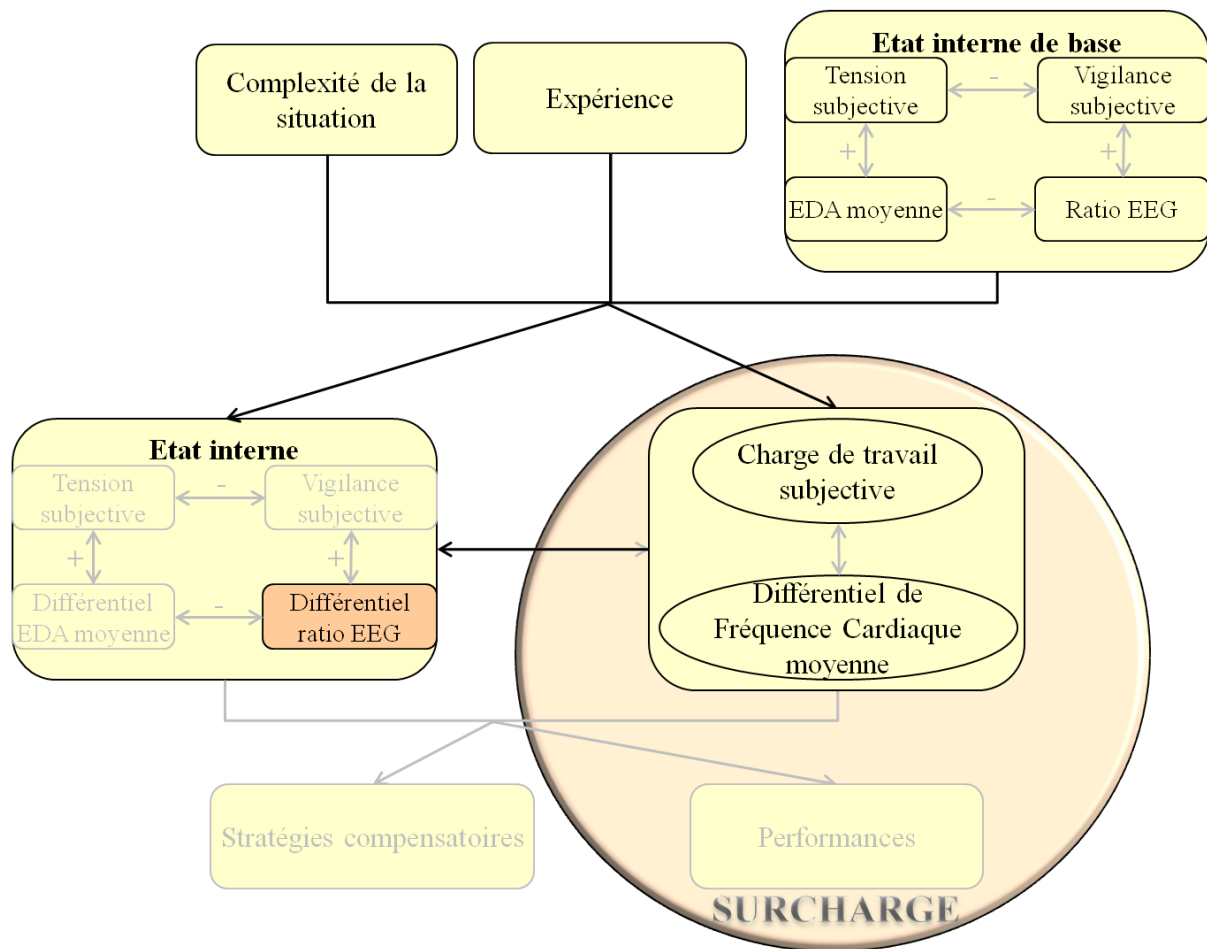


Figure 93. Prédicteurs du différentiel du ratio EEG.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun effet indirect des facteurs étudiés n'était observé sur le différentiel du ratio EEG (voir Tableau 72, Annexe 14, p 425).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet sur le différentiel du ratio EEG ($t(94) = 2.20, p < .05$), avec des scores plus élevés pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel ($M = 12.70, SD = 25.76$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = -12.39, SD = 74.64$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens du Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta après chaque situation étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédictors considérés expliquaient 11.33% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 46).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

Aucun effet simple principal n'était observé.

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = .20, p < .05$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le différentiel du ratio EEG était plus élevé en situation moyennement complexe qu'en situation simple (effet tendanciel : $t(30) = -1.71, p = .09$), tandis que pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, les scores ne se différenciaient pas d'une situation à l'autre (voir Tableau 48).

Tableau 48. Différentiel du ratio EEG pour chaque groupe et chaque situation.

	Simple, <i>M (SD)</i>	Moyenne, <i>M (SD)</i>	Très complexe, <i>M (SD)</i>
AT	15.46 (27.72)	13.44 (32.86)	9.21 (14.47)
FinPB	-47.29 (123.88)	6.05 (11.06)	4.06 (5.94)

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.21, p < .05$). La hausse du ratio EEG avant chaque situation augmentait le différentiel du ratio EEG en situation très complexe ($\beta = .47, p < .01$), et non en situation simple ($\beta = .31, n.s$) ni en moyennement complexe ($\beta = -.22, n.s$).

- **Corrélation entre données subjectives et physiologiques**

Le différentiel de ratio EEG et la vigilance subjective après chaque situation n'étaient pas significativement corrélés ($r = -.02$, *n.s.*).

Résumé

VIGILANCE SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (VSap)	
Facteurs entraînant une hausse de VSap	Facteurs entraînant une baisse de VSap
↑ Vigilance subjective avant	
↑ Charge de travail subjective (non linéaire)	↑ Charge de travail subjective (linéaire)
	↑ Différentiel de fréquence cardiaque
	↑ Ratio EEG avant chaque situation
<i>Pour les novices :</i> VSap en situation très complexe > VSap en situation simple	
DIFFERENTIEL DU RATIO EEG (EEG)	
Facteurs entraînant une hausse d'EEG	Facteurs entraînant une baisse d'EEG
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant chaque situation	
EEG des novices > EEG de ceux à la fin du permis probatoire	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> EEG en situation moyennement complexe > EEG en situation simple	
Corrélation TSap – EDA : n.s	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

3.2.4. Stratégies compensatoires : vitesse moyenne (en km/h)

L'ensemble des prédicteurs de la vitesse moyenne (en km/h) était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la vitesse moyenne, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 94).

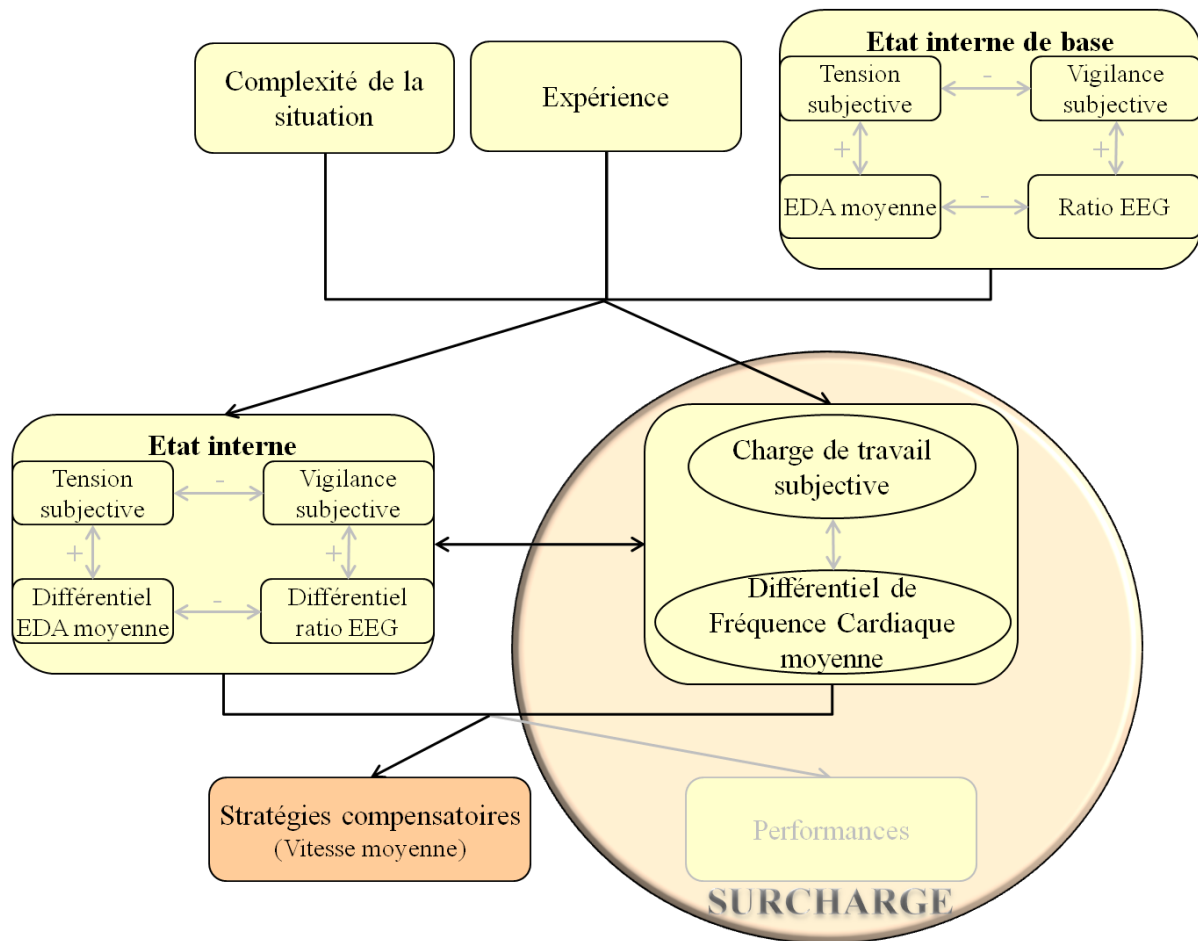


Figure 94. Prédicteurs de la vitesse moyenne (stratégie compensatoire).

Test de Sobel : effets indirects

Aucun effet indirect des facteurs étudiés n'a été observé sur la vitesse moyenne (voir Tableaux 73 et 74, Annexe 14, p 426-427).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la vitesse moyenne ($t(94) = 1.15, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de la vitesse étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 70.40% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 49).

Tableau 49. Prédicteurs de vitesse (moyenne et écart-type).

Variables indépendantes	Vitesse moyenne		Vitesse écart-type	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Situation (Sit)	-.46 **	.16	-1.15 **	.62 **
Tension subjective avant (TSav)	.11	.87 **	-.90 **	.02
Vigilance subjective avant (VSav)	-.02	.23	-.69 **	-1.06 **
Activité Electrodermale avant (EDAav)	.43 **	3.58	-.22 **	1.24 **
Ratio EEG avant (EEGav)	.34 **	1.65 **	.12 **	.69 **
Tension subjective après (TSap)	-.63	1.73	.01	1.46 **
Vigilance subjective après (VSap)	.62 **	-.64 **	-.22 **	-.67 **
Différentiel d'EDA (EDA)	.29 *	3.77	.43 **	1.34 **
Différentiel du ratio EEG (EEG)	-4.46	-12.02	-2.27 **	20.58 **
Interaction Exp * Sit	-.17 *		-.08 **	
Interaction Exp * TSav	-.24 *		-.05 *	
Interaction Exp * VSav	-.36		.46 **	
Interaction Exp * EDAav	.47		.09 **	
Interaction Exp * EEGav	.31		-.54 **	
Interaction Exp * TSap	.14		-.28 **	
Interaction Exp * VSap	.93		.02	
Interaction Exp * EDA	-.69 **		-.20 **	
Interaction Exp * EEG	5.01		.92 **	
Interaction Sit * TSav	.26 **	-1.00	-.07 *	-.25 *
Interaction Sit * VSav	-.45 **	.89 **	-.08 *	-.01
Interaction Sit * EDAav	-.25 *	-.62 **	-.11 **	-.81 **
Interaction Sit * EEGav	.73 **	-1.15 **	.04	.90 **
Interaction Sit * TSap	-1.00	1.00	-.24 **	-1.69 **
Interaction Sit * VSap	.33	.79	-.44 **	.03
Interaction Sit * EDA	-.02	-3.35	-.08 *	.01
Interaction Sit * EEG	.25	1.08	.52 *	-4.37 **
Interaction TSav * VSav	.24 *	.74	-1.03 **	1.55 **
Interaction TSap * VSap	.89	.37 *	-.27 **	.23 *

Interaction EDAav * EEGav	-.49	-1.55 **	-.21 **	-1.69 **
Interaction EDA * EEG	-2.21 **	6.06 **	-.94 **	-13.42 **
Charge de travail subjective (CTS)	.45 **	-.76	.15 **	-.91 **
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)	.54	1.30 **	-1.10 **	1.63 **
Interaction Exp * CTS	.27 *		-.23 **	
Interaction Sit * CTS	-.26 *	-1.07	.64 **	.12 *
Interaction Exp * DFC	-.30		.27 **	
Interaction Sit * DFC	.18	.98	.16 **	-1.01 **
Interaction TSav * CTS	.36	-.31	.01	-.82 **
Interaction VSav * CTS	.47	-.63	.14 **	.86 **
Interaction TSap * CTS	-.94	-.66 **	-.40 **	-.03
Interaction VSap * CTS	-2.27	1.70	-.44 **	.28 **
Interaction EDAav * CTS	.45 **	1.68 **	.36 **	2.06 **
Interaction EEGav * CTS	-.23 *	-.46 **	-.50 **	-.60 **
Interaction EDA * CTS	.28 *	.13	-.52 **	-.11 *
Interaction EEG * CTS	.35	.64 **	-.42 **	.02
Interaction TSav * DFC	.49	.47	1.12 **	1.81 **
Interaction VSav * DFC	.06	.08	.47 **	-.71 **
Interaction TSap * DFC	.01	-2.21 **	-1.35 **	-2.22 **
Interaction VSap * DFC	.82 **	1.68	-.63 **	2.25 **
Interaction EDAav * DFC	.48	-1.00 **	-.32 **	-1.30 **
Interaction EEGav * DFC	1.49 **	-.93 **	-.22 *	.45 **
Interaction EDA * DFC	-.63	-.79 **	.47 **	-1.37 **
Interaction EEG * DFC	2.09 **	-1.83	.46 *	-6.31 **

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ Effets simples principaux significatifs

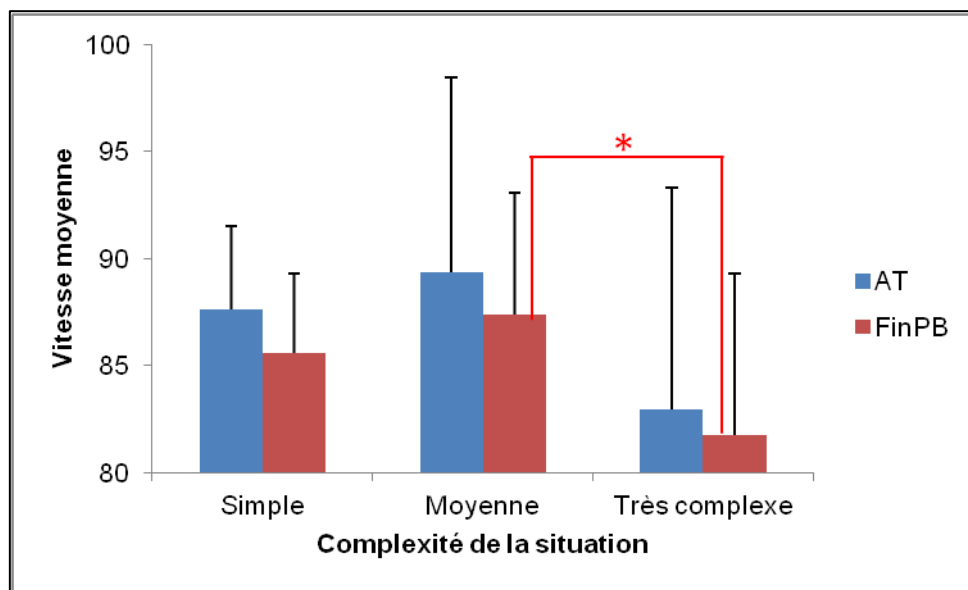
La hausse de vigilance subjective après chaque situation augmentait la vitesse moyenne avec un effet linéaire ($\beta = .62, p < .001$), et la diminuait avec un effet non linéaire ($\beta = -.64, p < .001$).

La hausse de l'activité électrodermale avant chaque situation, du différentiel d'activité électrodermale et de la charge de travail subjective augmentait la vitesse moyenne avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .43, p < .001$; $\beta = .29, p < .01$ et $\beta = .45, p < .001$).

Enfin, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque augmentait la vitesse moyenne avec un effet non linéaire ($\beta = 1.30, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience × Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.17, p < .05$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la vitesse moyenne était plus faible en situation très complexe ($M = 81.73, SD = 7.54$) qu'en moyennement complexe ($M = 87.37, SD = 5.68$), et aucune différence n'était observée avec la situation simple ($M = 85.59, SD = 3.71$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, aucune différence ne s'observait entre les situations simple ($M = 87.64, SD = 3.84$), moyennement complexe ($M = 89.36, SD = 9.06$) et très complexe ($M = 82.95, SD = 10.38$) (voir Figure 95).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 95. Vitesse moyenne en fonction de chaque groupe dans chaque situation.

L'interaction Expérience × Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.24, p < .05$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse de la tension subjective avant chaque situation augmentait leur vitesse moyenne ($\beta = .35, p < .05$), tandis que pour les novices, cela n'avait aucun impact ($\beta = .03, n.s$).

L'interaction Situation × Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .26, p < .001$). En situation moyennement complexe, la hausse de tension subjective augmentait la vitesse moyenne ($\beta = .39, p < .05$), tandis qu'en situations simple ($\beta = .24, n.s$) et très complexe ($\beta = .03, n.s$), aucun effet n'était observé.

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = .73, p < .001$) et non linéaire ($\beta = -1.15, p < .001$) significatifs. En situation simple, la hausse du ratio EEG avant chaque situation augmentait la vitesse moyenne avec un effet non linéaire ($\beta = 1.68, p < .05$), tandis qu'en situations moyennement complexe ($\beta = .22, n.s$) et très complexe ($\beta = .27, n.s$), aucun effet n'était observé.

3.2.5. Performances de conduite : écart-type de vitesse

L'ensemble des prédicteurs de l'écart-type de la vitesse était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur l'écart-type de vitesse, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 96).

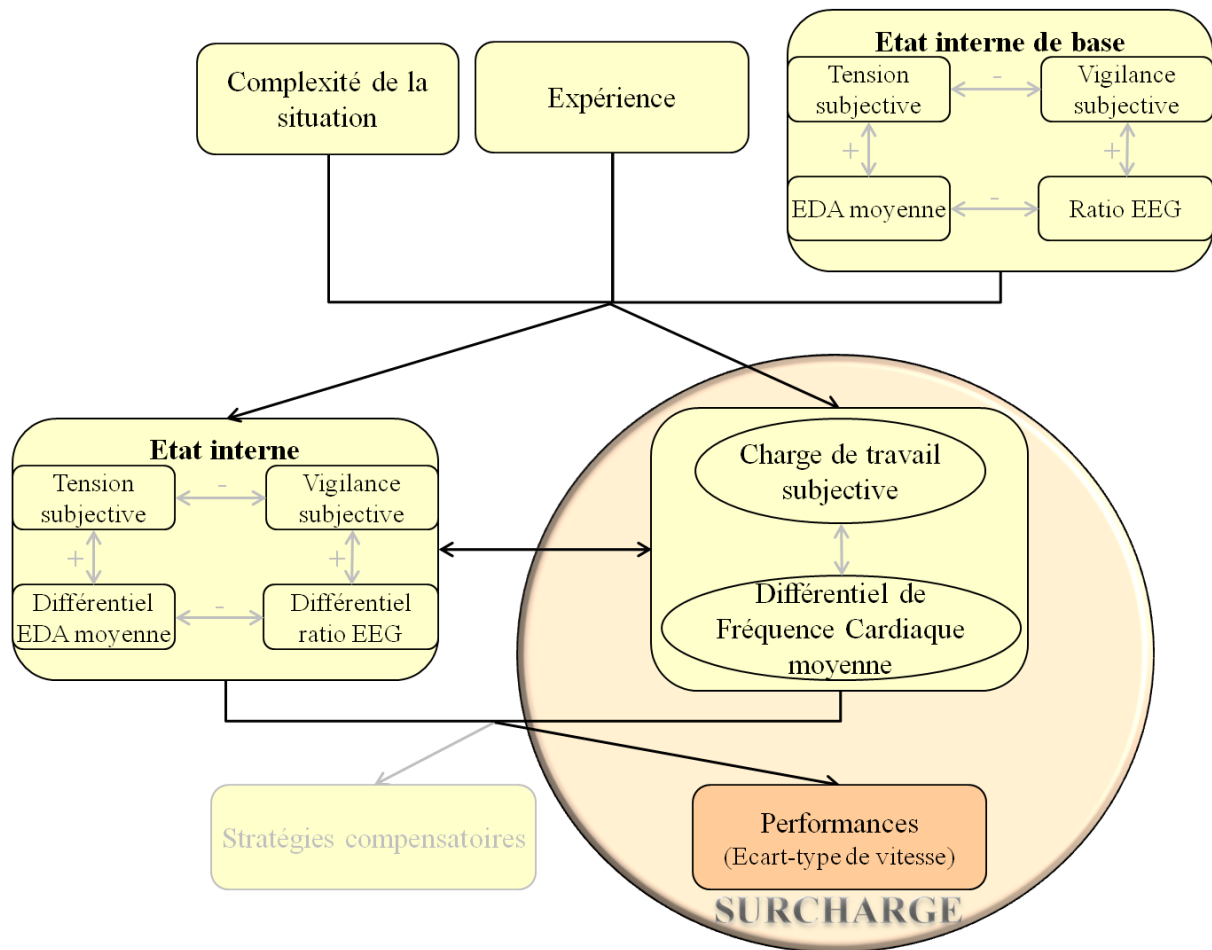


Figure 96. Prédicteurs de l'écart-type de vitesse (performance).

Test de Sobel : effets indirects

Aucun des facteurs étudiés n'avait d'effet indirect sur l'écart-type de vitesse (voir Tableaux 75 et 76, Annexe 14, p 428-429).

T de Student : effet simple de l'expérience

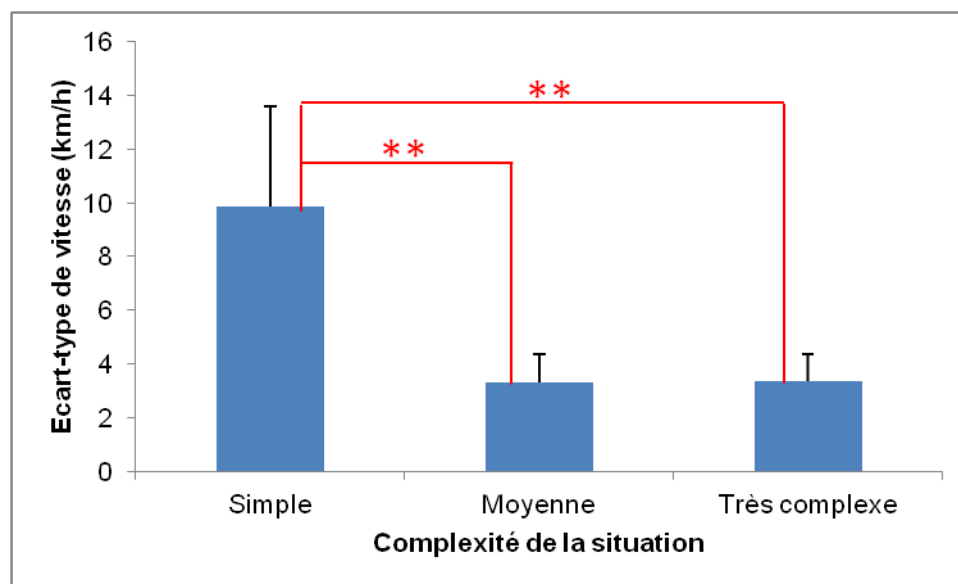
L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur l'écart-type de vitesse ($t(94) = .10, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de l'écart-type de la vitesse étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 99.73% de la variance de l'écart-type de vitesse (voir Tableau 49).

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de la complexité de la situation diminuait l'écart-type de vitesse de manière linéaire ($\beta = -1.15$, $p < .001$), et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = .62$, $p < .001$). Ainsi, l'écart-type de vitesse était plus élevé en situation simple ($M = 9.85$, $SD = 3.75$) qu'en situations moyennement complexe ($M = 3.30$, $SD = 1.07$) et très complexe ($M = 3.33$, $SD = 1.04$) (voir Figure 97).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 97. Ecart-type de vitesse en fonction de chaque situation.

La hausse de vigilance subjective avant chaque situation réduisait l'écart-type de vitesse avec des effets linéaire ($\beta = -.69$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -1.06$, $p < .001$).

La hausse d'activité électrodermale avant chaque situation diminuait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -.22, p < .001$), et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = 1.24, p < .001$).

La hausse de la tension subjective après chaque situation augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = 1.46, p < .001$).

La hausse du ratio EEG avant chaque situation augmentait l'écart-type de vitesse avec des effets linéaire ($\beta = .12, p < .001$) et non linéaire ($\beta = .69, p < .001$).

Enfin, le différentiel du ratio EEG réduisait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -2.27, p < .001$) et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = 20.58, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Différentiel d'activité électrodermale avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.20, p < .001$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, la hausse du différentiel d'activité électrodermale diminuait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -.30, p < .05$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .18, n.s$).

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = -.07, p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.25, p < .01$) significatifs. En situation très complexe, la hausse de tension subjective avant chaque situation augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = .36, p < .05$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .08, n.s$ et $\beta = .20, n.s$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire ($\beta = -.44, p < .001$) significatif. En situation très complexe, la hausse de vigilance subjective après chaque situation diminuait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = -2.50, p < .01$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .13, n.s$ et $\beta = .16, n.s$).

L'interaction Situation \times Différentiel d'activité électrodermale avait un effet linéaire ($\beta = -.08, p < .01$) significatif. En situation simple, le différentiel d'activité électrodermale augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = 1.48, p < .01$) tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .35, n.s$ et $\beta = -.13, n.s$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait des effets linéaire ($\beta = .64$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = .12$, $p < .01$) significatifs. En situation simple, la hausse de la charge de travail subjective diminuait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -.36$, $p < .05$) tandis qu'en situations moyennement complexe ($\beta = .20$, $n.s$) et très complexe ($\beta = -.02$, $n.s$), aucun effet n'était observé.

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque avait des effets linéaire ($\beta = .16$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -1.01$, $p < .001$) significatifs. En situation simple, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = 1.18$, $p < .05$) tandis qu'en situations moyennement complexe ($\beta = .01$, $n.s$) et très complexe ($\beta = -.11$, $n.s$), aucun effet n'était observé.

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

➤ *En fonction de la charge de travail subjective*

Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, la hausse de charge de travail subjective diminuait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -.50$, $p < .05$) en situation simple tandis qu'aucun effet n'était observé en situations moyennement complexe ($\beta = .16$, $n.s$) et très complexe ($\beta = .05$, $n.s$). De plus, la charge de travail subjective n'avait pas d'effet sur l'écart-type de vitesse pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, que ce soit en situation simple ($\beta = -.20$, $n.s$), moyennement complexe ($\beta = .18$, $n.s$), ou très complexe ($\beta = -.09$, $n.s$).

➤ *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque*

Le différentiel de fréquence cardiaque n'avait aucun effet sur l'écart-type de vitesse, quels que soient le groupe et la situation (voir Tableau 50).

Tableau 50. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur l'écart-type de vitesse pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduit	Simple, β	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	-.13	-.11	-.31
FinPB	.46	-.04	-.43
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

Résumé

VITESSE MOYENNE (Vit_moy)	
Facteurs entraînant une hausse de Vit_moy	Facteurs entraînant une baisse de Vit_moy
↑ Vigilance subjective après (linéaire)	↑ Vigilance subjective après (non linéaire)
↑ Activité électrodermale avant	
↑ Différentiel d'activité électrodermale	
↑ Charge de travail subjective	
↑ Différentiel de fréquence cardiaque	
<i>En situation moyennement complexe :</i> ↑ Tension subjective avant	
<i>En situation simple :</i> ↑ Ratio EEG avant	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↑ Tension subjective avant	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> Vit_moy en situation moyennement complexe > Vit_moy en situation très complexe	
ECART-TYPE DE VITESSE (Vit_écart)	
Facteurs entraînant une hausse de Vit_écart	Facteurs entraînant une baisse de Vit_écart
	↑ Vigilance subjective avant
↑ Activité électrodermale avant (non linéaire)	↑ Activité électrodermale avant (linéaire)
↑ Tension subjective après	
↑ Ratio EEG avant	
↑ Différentiel du ratio EEG (non linéaire)	↑ Différentiel du ratio EEG (linéaire)
	<i>Pour les novices :</i> ↑ Différentiel d'activité électrodermale
<i>En situation simple :</i> - ↑ Différentiel d'activité électrodermale - ↑ Différentiel de fréquence cardiaque = SURCHARGE	<i>En situation simple :</i> ↑ Charge de travail subjective = SURCHARGE
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Tension subjective avant	<i>En situation très complexe :</i> ↑ Vigilance subjective après
	<i>Pour les novices en situation simple :</i> ↑ Charge de travail subjective
Vit_écart en situation simple > Vit_écart en moyennement complexe et très complexe	

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

3.2.6. Stratégies compensatoires : Position Latérale moyenne (en mm)

L'ensemble des prédicteurs de la Position Latérale moyenne (en mm) était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la Position Latérale moyenne, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 98).

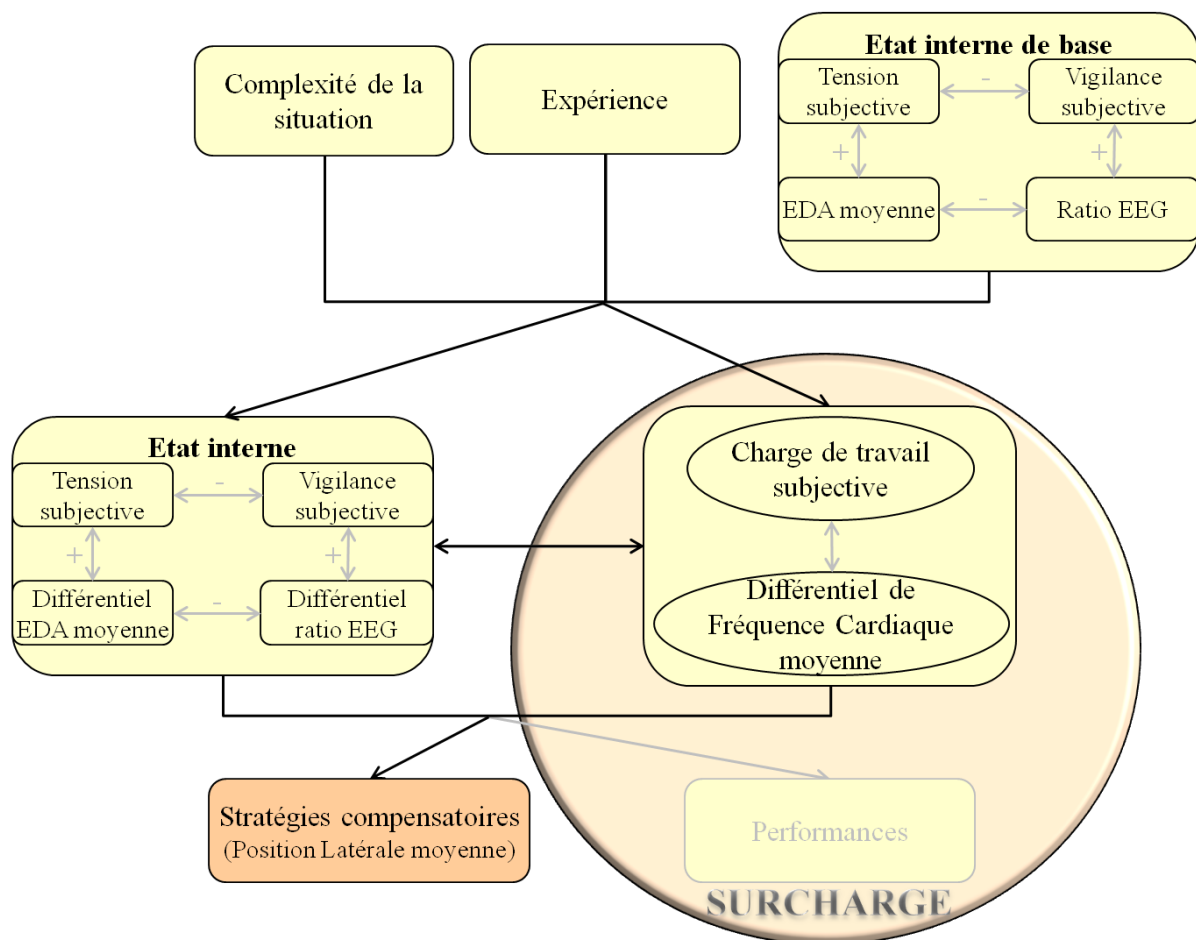


Figure 98. Prédicteurs de la position latérale moyenne (stratégie).

Test de Sobel : effets indirects

La charge de travail subjective était médiatrice de l'effet de la tension subjective après chaque situation sur la position latérale moyenne ($z = 2.13, p < .05$). Un haut niveau de tension provoquait un haut niveau de charge de travail ($\beta = .39, p < .001$), qui à son tour entraînait de faibles scores de la position latérale moyenne ($\beta = .27, p < .05$) révélant un positionnement vers la gauche de la voie du conducteur.

Par ailleurs, la tension subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet de la charge de travail subjective sur la position latérale moyenne ($z = -2.10$, $p < .05$). Ainsi, un haut niveau de charge entraînait un haut niveau de tension ($\beta = .39$, $p < .001$), qui à son tour provoquait de faibles scores de la position latérale moyenne ($\beta = -.26$, $p < .05$) révélant un positionnement vers la gauche de la voie (voir Tableaux 77 et 78, Annexe 14, p 430-431).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la position latérale moyenne ($t(94) = 1.57$, $n.s$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de la Position Latérale étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 65.20% de la variance de la position latérale moyenne (voir Tableau 51).

Tableau 51. Prédicteurs de Position Latérale moyenne et SDLP.

Variables indépendantes \ Variables dépendantes	Position Latérale moyenne		SDLP	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Situation (Sit)	.75 **	-1.16	.41	.80
Tension subjective avant (TSav)	.32 *	.03	-.04	-1.97
Vigilance subjective avant (VSav)	.62 **	1.37 **	-1.36 **	-1.07
Activité Electrodermale avant (EDAav)	.63	-4.64	-.38 *	4.30 **
Ratio EEG avant (EEGav)	.28	-.71	-.30 *	1.57 **
Tension subjective après (TSap)				
Vigilance subjective après (VSap)	.86	-3.92	-1.92	.58 *
Différentiel d'EDA (EDA)	.58	-1.12 **	.69 **	-2.32
Différentiel du ratio EEG (EEG)	-.20	-10.80 **	-4.04 **	50.14 **
Interaction Exp * Sit	-.29		.06	
Interaction Exp * TSav	.18		-.31 *	
Interaction Exp * VSav	-.40 *		.45 *	
Interaction Exp * EDAav	-.60 **		.56 *	
Interaction Exp * EEGav	.67		-.29 *	
Interaction Exp * TSap	-.36		.32	

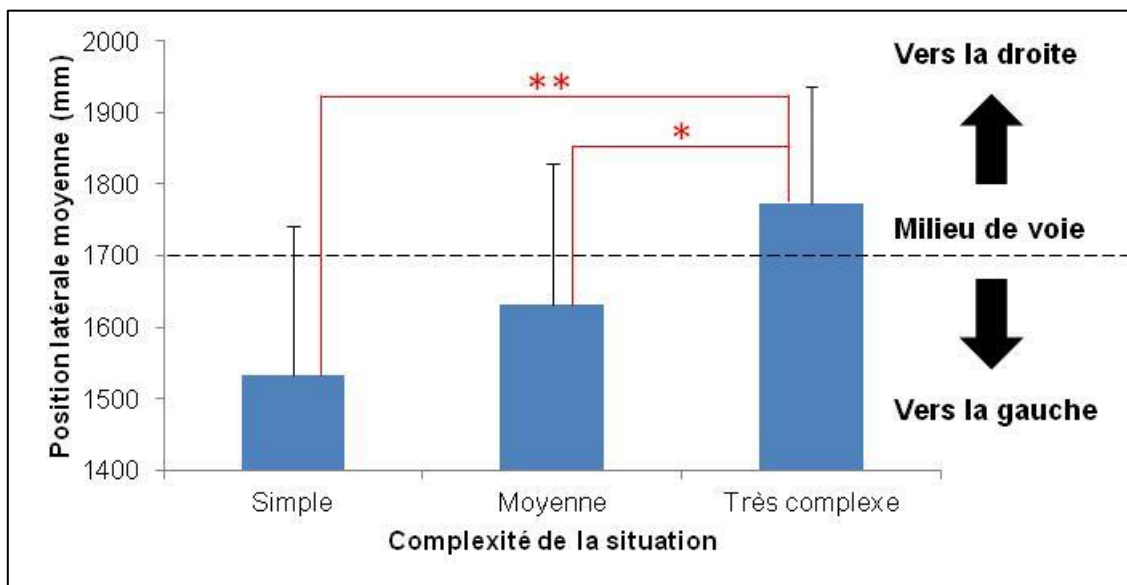
Interaction Exp * VSav	-.38 *		.72	
Interaction Exp * EDA	.55 **		-.37 *	
Interaction Exp * EEG	-1.83 **		-1.60 *	
Interaction Sit * TSav	.56	.91 **	-1.01	-.59 *
Interaction Sit * VSav	-.57	.76	.41	-.66
Interaction Sit * EDAav	.37	3.41	-1.35 **	-1.92 **
Interaction Sit * EEGav	.26	-.91	-.84	.73 *
Interaction Sit * TSap	.32	3.15	.37 *	-.29 *
Interaction Sit * VSap	-.43	2.10	-.98 **	-2.62
Interaction Sit * EDA	-.43 *	1.14 **	.50 *	1.35 **
Interaction Sit * EEG	-1.85 **	-4.00 **	-4.05 **	-25.55 **
Interaction TSav * VSav	.86 **	-2.56 **	-.22	1.95 **
Interaction TSap * VSap	-1.29	3.49	.05	.60
Interaction EDAav * EEGav	-.33 *	2.37	.50 *	-3.91 **
Interaction EDA * EEG	-2.53	11.87 **	-3.36 **	-17.53 *
Charge de travail subjective (CTS)			1.10 **	1.34 **
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)	-.07	.72 *	-.41 *	-.81 *
Interaction Exp * CTS	-.22		-.14	
Interaction Sit * CTS	-.36 **	.15	.30	.89
Interaction Exp * DFC	-.18		.22	
Interaction Sit * DFC	-.61	-1.31 **	-.53 **	.96 **
Interaction TSav * CTS	.73	1.40 **	.70 **	-1.31 **
Interaction VSav * CTS	.83 **	-1.00 **	-.07	-1.82 **
Interaction TSap * CTS	-.07	-5.31	.83	-1.32
Interaction VSap * CTS	-.67 **	.73 **	1.08	-.75 *
Interaction EDAav * CTS	-.58 **	-1.23 **	.66 **	2.33 **
Interaction EEGav * CTS	.29	-.03	.23	-.76 **
Interaction EDA * CTS	.81 **	-1.51	-1.78	1.55
Interaction EEG * CTS	-1.06 *	6.05 **	-2.13 **	-2.25 *
Interaction TSav * DFC	1.04	-2.92	.52 *	1.47 **
Interaction VSav * DFC	-.63	-1.40	-1.82 **	.85
Interaction TSap * DFC	-.49 **	.95 *	1.05	-2.62 **
Interaction VSap * DFC	.24	-1.52 **	1.27 **	2.38 **
Interaction EDAav * DFC	.20	.75 *	-.58 **	-1.47 **
Interaction EEGav * DFC	1.01 **	-.92 **	-.81 *	1.26 *
Interaction EDA * DFC	-.42 *	.59 *	2.18	-1.74 **
Interaction EEG * DFC	-1.06 *	6.05 **	1.10	-6.27 *

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de la complexité de la situation augmentait la position latérale moyenne avec un effet linéaire significatif ($\beta = .75$, $p < .001$). En situation très complexe ($M = 1773.44$, $SD = 162.80$), les conducteurs positionnaient le véhicule davantage vers la droite de la voie qu'en

situations simple ($M = 1533.76$, $SD = 207.21$) et moyennement complexe ($M = 1631.51$, $SD = 196.58$) lors desquelles ils étaient positionnés plus à gauche (voir Figure 99).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 99. Position latérale moyenne en fonction de la complexité des situations.

La hausse de la tension subjective avant chaque situation augmentait également la position latérale moyenne avec un effet linéaire significatif ($\beta = .32$, $p < .01$).

La hausse de la vigilance subjective avant chaque situation augmentait la position latérale moyenne avec des effets linéaire ($\beta = .62$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = 1.37$, $p < .001$) significatifs.

La hausse du différentiel d'activité électrodermale ainsi que du différentiel du ratio EEG diminuait la position latérale moyenne avec un effet non linéaire significatif (respectivement : $\beta = -1.12$, $p < .001$ et $\beta = -10.80$, $p < .001$).

A l'inverse, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque augmentait la position latérale moyenne avec un effet non linéaire ($\beta = .72$, $p < .01$).

➤ Effets d'interaction principaux significatifs

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire ($\beta = -.36$, $p < .001$) significatif. En situation simple, la hausse de charge de travail subjective augmentait la position latérale moyenne avec un effet non linéaire ($\beta = 2.14$, $p < .05$) tandis qu'en situations moyennement complexe ($\beta = .07$, $n.s$) et très complexe ($\beta = -.12$, $n.s$), aucun effet n'était observé.

3.2.7. Performances de conduite : Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP)

L'ensemble des prédicteurs des Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP) était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur les SDLP, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 100).

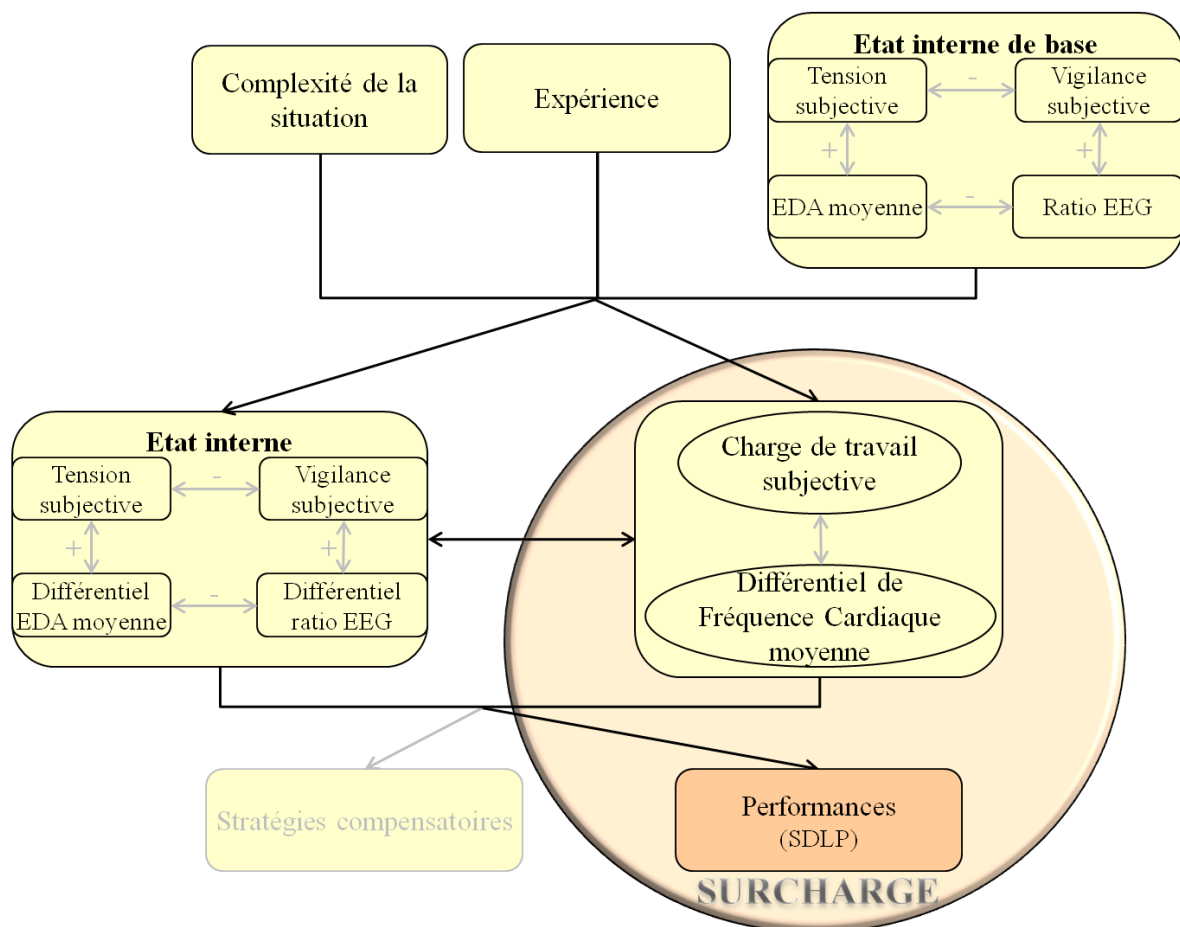


Figure 100. Prédicteurs des SDLP (performance).

Test de Sobel : effets indirects

La tension subjective après chaque situation avait un effet sur les SDLP *via* la charge de travail subjective ($z = 2.29, p < .05$). Ainsi, un niveau élevé de tension entraînait un niveau élevé de charge ($\beta = .39, p < .001$), qui à son tour provoquait une augmentation des SDLP ($\beta = .30, p < .01$). Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur les SDLP (voir Tableaux 79 et 80, Annexe 14, p 432-433).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur les SDLP ($t(94) = 1.22, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens des Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP) étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 66.15% de la variance des déviations standard de la position latérale (voir Tableau 51).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse d'activité électrodermale avant chaque situation ainsi que la hausse du différentiel du ratio EEG diminuaient les SDLP avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = -.38, p < .01$ et $\beta = -4.04, p < .001$) et l'augmentaient avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = 4.30, p < .001$ et $\beta = 50.14, p < .001$).

La hausse de la vigilance après chaque situation augmentait les SDLP avec un effet non linéaire ($\beta = .58, p < .01$).

La hausse de charge de travail subjective augmentait les SDLP avec des effets linéaire ($\beta = 1.10, p < .001$) et non linéaire ($\beta = 1.34, p < .001$).

Enfin, à l'inverse, le différentiel de fréquence cardiaque diminuait les SDLP avec des effets linéaire ($\beta = -.41, p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.81, p < .01$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .45, p < .01$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, la vigilance subjective n'avait aucun effet sur les SDLP ($\beta = -.02, n.s$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse de vigilance subjective diminuait les SDLP ($\beta = -.34, p < .05$).

L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.29, p < .01$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, le ratio EEG avant chaque situation n'avait aucun effet sur les SDLP ($\beta = .20, n.s$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse du ratio EEG diminuait les SDLP ($\beta = -.43, p < .05$).

L'interaction Expérience \times Différentiel d'activité électrodermale avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.37, p < .01$). Pour les novices avec un apprentissage traditionnel, la hausse du différentiel d'activité électrodermale diminuait les SDLP avec un effet non linéaire ($\beta = -.72, p < .01$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = -.06, n.s$).

L'interaction Situation \times Différentiel d'activité électrodermale avait des effets linéaire ($\beta = .50, p < .01$) et non linéaire ($\beta = 1.35, p < .001$) significatifs. En situations simple et moyennement complexe, le différentiel d'activité électrodermale n'avait pas d'effet sur les SDLP (respectivement : $\beta = -.15, n.s$ et $\beta = .04, n.s$), tandis qu'en situation très complexe, la hausse du différentiel d'activité électrodermale diminuait les SDLP avec un effet non linéaire ($\beta = -.90, p < .05$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

➤ *En fonction de la charge de travail subjective*

La charge de travail subjective n'avait aucun effet sur les SDLP en fonction de chaque groupe et de chaque situation (voir Tableau 52).

Tableau 52. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, β	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	.26	.26	.22
FinPB	.17	.45	.13
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

➤ *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque*

Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait les SDLP en situation simple. Aucun autre effet n'était observé en fonction du groupe et de la situation (voir Tableau 53).

Tableau 53. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les SDLP pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduite	Simple, β	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	-.58 *	-.22	-.32
FinPB	.25	-.03	-.37
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

Résumé

POSITION LATÉRALE MOYENNE (PosLat_moy)	
Facteurs entraînant une hausse de PosLat_moy	Facteurs entraînant une baisse de PosLat_moy
↑ Tension subjective après => ↑ Charge de travail subjective	↑ Charge de travail subjective => ↑ Tension subjective après
↑ Tension subjective avant	↑ Différentiel d'activité électrodermale
↑ Vigilance subjective avant	↑ Différentiel du ratio EEG
<i>En simple :</i> ↑ Charge de travail subjective	
PosLat_moy en situation très complexe > PosLat_moy en simple et moyennement complexe	
ECART-TYPE DE POSITION LATÉRALE (SDLP)	
Facteurs entraînant une hausse des SDLP	Facteurs entraînant une baisse des SDLP
↑ Tension subjective après => ↑ Charge de travail subjective	↑ Différentiel de fréquence cardiaque
↑ Activité électrodermale avant (non linéaire)	↑ Activité électrodermale avant (linéaire)
↑ Différentiel du ratio EEG (non linéaire)	↑ Différentiel du ratio EEG (linéaire)
↑ Vigilance subjective après	<i>Pour les novices :</i> ↑ Différentiel d'activité électrodermale
↑ Charge de travail subjective	<i>Pour les novices en situation simple :</i> ↑ Différentiel de fréquence cardiaque
	<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> - ↑ Vigilance subjective avant - ↑ Ratio EEG avant
	<i>En situation très complexe :</i> ↑ Différentiel de fréquence cardiaque

Note : ↑ = Hausse ; ↓ = Baisse

3.3. Portions avec piétons

3.3.1 Charge de travail attribuée aux 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs des données subjectives et physiologiques de la charge de travail attribuée aux 2^e et 3^e piétons étaient testés, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la charge, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 101). Une analyse des corrélations entre les données subjectives et physiologiques de la charge de travail était ensuite réalisée.

- **Données subjectives**

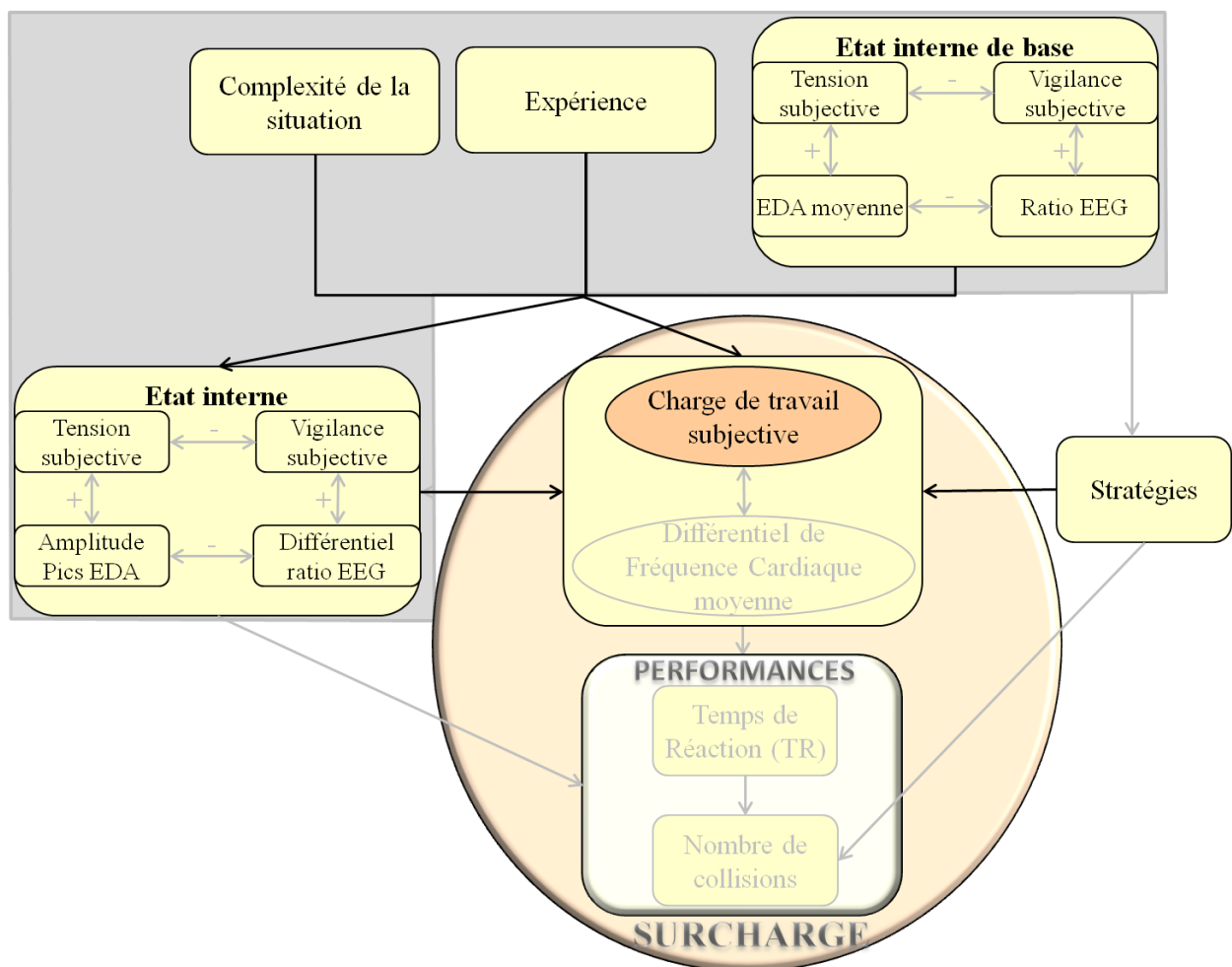
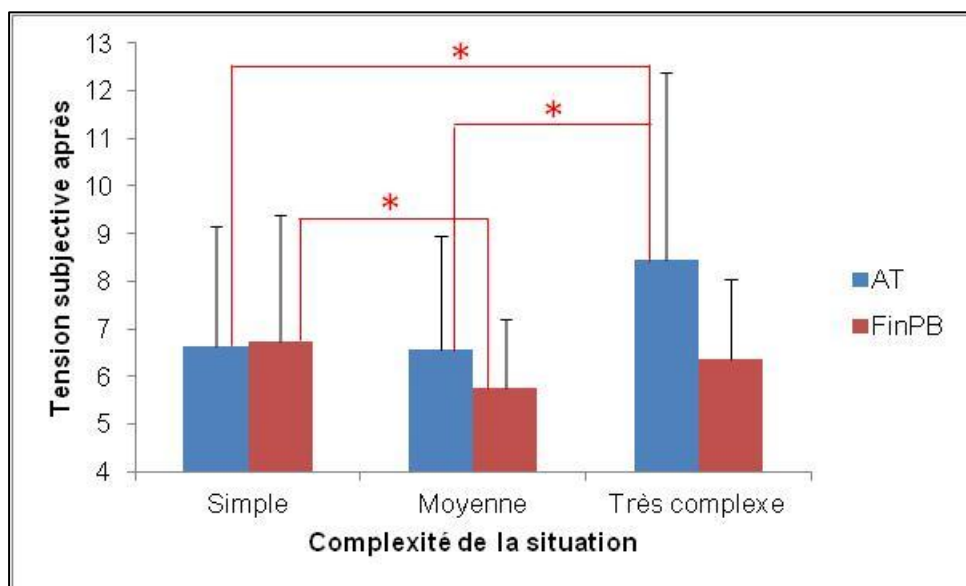


Figure 101. Prédicteurs de la charge de travail subjective.

Test de Sobel : effets indirects

La tension subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet de l'expérience ($z = -2.54, p < .05$) et de la tension subjective avant chaque situation ($z = 3.96, p < .001$) sur la charge de travail subjective (voir Tableau 54). En effet, un faible niveau d'expérience entraînait un niveau élevé de tension ($\beta = -.17, p < .01$), avec des scores plus élevés pour les novices ($M = 7.21, SD = 3.15$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 6.29, SD = 2.02$). De plus, un niveau élevé de tension avant chaque situation entraînait un haut niveau de tension après chaque situation ($\beta = .60, p < .001$). A son tour, un niveau élevé de tension après chaque situation provoquait un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .29, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Situation avait également un effet sur la charge de travail subjective *via* la tension subjective après chaque situation ($z = -2.50, p < .05$). Ainsi, l'interaction Expérience \times Situation avait un effet significatif sur la tension ($\beta = -.17, p < .01$). Pour les novices, les scores étaient plus élevés en situation très complexe ($M = 8.44, SD = 3.95$) qu'en situations simple ($M = 6.62, SD = 2.55$) et moyennement complexes ($M = 6.56, SD = 2.40$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les scores étaient à l'inverse plus élevés en situation simple ($M = 6.75, SD = 2.64$) qu'en situation moyennement complexe ($M = 5.75, SD = 1.45$), et aucune différence n'était significative entre la situation très complexe ($M = 6.37, SD = 1.67$) et les deux autres (voir Figure 102).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 102. Tension subjective après chaque situation en fonction du groupe et de la situation.

Un haut niveau de tension provoquait ensuite un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .29, p < .001$).

La situation avait un effet sur la charge de travail subjective *via* la vigilance subjective après chaque situation ($z = 2.26, p < .05$) (voir Tableau 54). Ainsi, un niveau élevé de complexité de la situation entraînait un haut niveau de vigilance ($\beta = .21, p < .001$), avec des scores plus faibles en situation simple ($M = 1.07, SD = .66$) qu'en situations moyennement complexe ($M = 1.28, SD = .78$) et très complexe ($M = 1.48, SD = .84$). Un niveau élevé de vigilance provoquait un faible niveau de charge de travail subjective ($\beta = -.17, p < .01$).

La vigilance subjective avant chaque situation avait un effet sur la charge *via* la vigilance subjective après chaque situation ($z = -3.26, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un haut niveau de vigilance après chaque situation ($\beta = .55, p < .001$), qui à son tour provoquait un faible niveau de charge de travail subjective ($\beta = -.24, p < .001$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur la charge de travail *via* la vigilance subjective après chaque situation (voir Tableau 54). De la même manière, aucun facteur étudié n'avait d'effet sur la charge de travail subjective *via* les stratégies (voir Tableau 81, Annexe 14, p 434).

Tableau 54. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective *via* les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation et le niveau physiologique pendant l'activité.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Pics EDA	Via Vigilance subjective après	Via Différentiel du ratio de l'EEG
Expérience (Exp)	-2.54 *	.61	-1.12	-.62
Situation (Sit)	1.74	-.89	-2.26 *	.29
Vigilance subjective avant (VSav)	-.46	.35	-3.26 *	-.06
Tension subjective avant (TSav)	3.96 **	-.84	1.03	.16
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	1.35	-1.84	-1.47	.43
Ratio EEG avant (EEGav)	-1.94	.99	.04	.59
Interaction Exp * Sit	-2.50 *	.64	1.80	.25
Interaction Exp * TSav	-1.57	.85	.53	.60
Interaction Exp * VSav	1.46	.65	-.83	.37
Interaction Exp * EDAav	-1.75	.98	1.83	.48
Interaction Exp * EEGav	1.54	.28	.45	.53
Interaction Sit * TSav	-.58	.59	1.86	-.67
Interaction Sit * VSav	-.68	-.51	-.00	-.40
Interaction Sit * EDAav	.39	-.95	.91	-.86
Interaction Sit * EEGav	.06	-.02	-1.00	-.46
Interaction TSav * VSav	.09	-.64	.86	-.36
Interaction EDAav * EEGav	-1.78	1.42	1.95	-.26

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait pas d'effet sur la charge de travail subjective ($t(286) = -.71, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de charge de travail subjective étaient soumis à la régression polynomiale 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Stratégies d'évitement des piétons). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 47.80% de la variance de la charge de travail subjective (voir Tableau 55).

Tableau 55. Prédicteurs de charge et du différentiel de fréquence cardiaque.

Variables indépendantes	Charge de travail subjective		Différentiel de Fréquence Cardiaque	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Situation (Sit)			.17 **	.06
Tension subjective avant (TSav)			.76 **	-.08
Vigilance subjective avant (VSav)			-.08	-.31 *
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.23 *	.53 **	.06	-.07
Ratio EEG avant (EEGav)	-.19 *	.44 **	.35 **	-.50 **
Tension subjective après (TSap)	.19 *	-.87 *	-.74 **	1.81 **
Vigilance subjective après (VSap)	-.21 **	.15	-.26 **	.41 **
Pics EDA	-.31 *	-.06	.25 **	.22
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.94 **	1.53 **	-1.50 **	2.43 *
Stratégies (Strat)	-.04	.11	-.31 *	.36 *
Interaction Exp * Sit			-.15 *	
Interaction Exp * TSav	-.16 *		-.18 *	
Interaction Exp * VSav	.02		.15 *	
Interaction Exp * TSap	-.19 *		.32 **	
Interaction Exp * VSap	-.16 *		.24 **	
Interaction Exp * EDAav	.01		.07	
Interaction Exp * EEGav	-.36 **		-.01	
Interaction Exp * Pics EDA	.16 *		-.07	
Interaction Exp * EEG	1.00 **		-.83 **	
Interaction Exp * Strat	.01		-.03	
Interaction Sit * TSav	.20 *	.02	.08	.09
Interaction Sit * VSav	.02	.07	.25 **	-.07
Interaction Sit * TSap	-.32 **	1.13 **	.10 *	-1.14 **
Interaction Sit * VSap	-.17 *	.29 **	.11	-.38 **
Interaction Sit * EDAav	.05	-.38	-.59 **	.23 **
Interaction Sit * EEGav	.01	-.28 **	-.15 *	.69 **

Interaction Sit * Pics EDA	.04	.07	.63 **	-.06
Interaction Sit * EEG	.21	-.06	.05	-3.94 **
Interaction Sit * Strat	.05	.05	.01	-.14 *
Interaction TSav * VSav	-.16 *	-.50 **	.42 **	-.57 **
Interaction EDAav * EEGav	-.03	-.35 *	.07	.17
Interaction TSap * VSap	.20 *	-.19	-.25 **	-.07
Interaction Pics EDA * EEG	.76 *	-.44 *	-1.40 **	.77 **
Interaction TSav * Strat	-.09	-.07	-.05	-.28 **
Interaction VSav * Strat	-.01	.34 **	.07	.44 **
Interaction TSap * Strat	.17	-.18	.15	-.23
Interaction VSap * Strat	-.06	-.14	.06	-.16
Interaction EDAav * Strat	.03	-.02	.10 *	.02
Interaction EEGav * Strat	-.11 *	-.05	-.04	-.05
Interaction Pics EDA * Strat	-.08	.14	-.08	-.13 *
Interaction EEG * Strat	-.01	-.07	.04	.10

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

Un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec des effets linéaire ($\beta = .23, p < .05$) et non linéaire ($\beta = .53, p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.16, p < .01$). Pour les novices avec un apprentissage traditionnel, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .28, p < .001$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, cela n'avait aucun effet ($\beta = -.01, n.s$).

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.16, p < .01$). Pour les novices, la vigilance après chaque situation n'avait aucun effet sur la charge de travail subjective ($\beta = -.04, n.s$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse de vigilance diminuait la charge ($\beta = -.29, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.36, p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .18, p < .001$).

.05) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, cela diminuait la charge avec un effet linéaire ($\beta = -.37, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Pics EDA avait un effet linéaire significatif ($\beta = .16, p < .01$). Pour les novices, la hausse d'amplitude des pics de réponse électrodermale augmentaient la charge de travail subjective avec un effet non linéaire ($\beta = .58, p < .05$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = -.01, n.s$).

L'interaction Expérience \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire significatif ($\beta = 1.00, p < .001$). Pour les novices, la hausse du différentiel du ratio EEG augmentait la charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .33, p < .001$) tandis qu'aucun effet n'était observé pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($\beta = -.06, n.s$).

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .20, p < .01$). En situation moyennement complexe, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .26, p < .05$) tandis qu'en situations simple ($\beta = -.03, n.s$) et très complexe ($\beta = -.05, n.s$), aucun effet n'était observé.

L'interaction Situation \times Tension subjective après avait des effets linéaire ($\beta = -.32, p < .001$) et non linéaire ($\beta = 1.13, p < .001$) significatifs. En situation simple, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait la charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .36, p < .001$) tandis qu'en situations moyennement complexe ($\beta = .10, n.s$) et très complexe ($\beta = .06, n.s$), aucun effet n'était observé.

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.28, p < .001$). En situation très complexe, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = -.31, p < .01$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement $\beta = -.06, n.s$ et $\beta = -.05, n.s$).

L'interaction Stratégies \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.11, p < .01$). Pour la stratégie d'écart, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = -.76, p < .05$) tandis que pour le freinage et la combinaison du freinage et de l'écart, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .04, n.s$ et $\beta = -.15, n.s$).

- **Données physiologiques : Différentiel de la Fréquence Cardiaque moyenne**

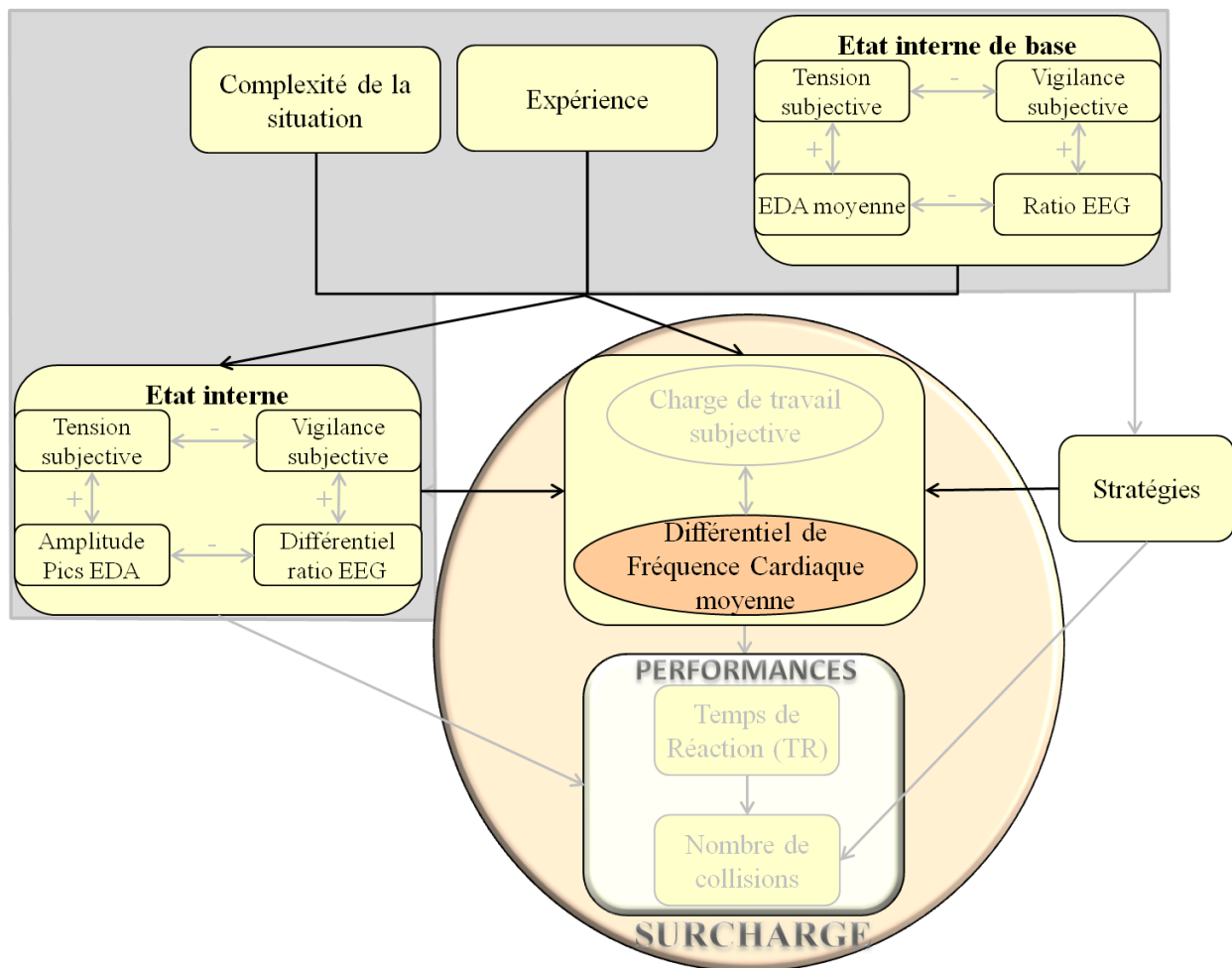


Figure 103. Prédicteurs du différentiel de fréquence cardiaque moyenne.

Test de Sobel : effets indirects

L'indicateurs physiologique de la charge de travail étaient les mêmes que durant les portions sans piétons. En effet, le temps de réponse du signal de fréquence cardiaque étant trop long pour isoler les données du signal uniquement durant les portions sans piétons. Par conséquent, la fréquence cardiaque moyenne a été analysée sur l'ensemble de la situation. Ainsi, aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur le différentiel de fréquence cardiaque (voir Tableau 68, Annexe 14, p 423).

Par ailleurs, en tenant compte de l'influence des stratégies d'évitement des piétons sur la charge de travail durant les portions avec piétons, le test de Sobel a été reconduit en ajoutant ce facteur. Les analyses ont montré qu'aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur le différentiel de fréquence cardiaque *via* les stratégies (voir Tableau 82, Annexe 14, p 435).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet significatif sur le différentiel de fréquence cardiaque ($t(94) = 3.66$, $p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel ($M = 4.81$, $SD = 8.52$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = -1.12$, $SD = 7.29$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens du différentiel de la fréquence cardiaque étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Stratégies d'évitement des piétons). Dans ce modèle, les prédictors considérés expliquaient 65.43% de la variance du différentiel de la fréquence cardiaque (voir Tableau 55).

➤ Effets simples principaux significatifs

La hausse de tension subjective après chaque situation ainsi que la hausse du différentiel du ratio EEG diminuaient le différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = -.74$, $p < .001$ et $\beta = -1.50$, $p < .001$) et l'augmentait avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = 1.81$, $p < .001$ et $\beta = 2.43$, $p < .01$).

➤ Effets d'interaction principaux significatifs

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.15$, $p < .01$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le différentiel de fréquence cardiaque moyenne était plus élevé en situation simple qu'en situation très complexe avec un effet tendanciel ($t(30) = 2.00$, $p = .05$), tandis qu'aucune différence n'était observée entre les situations concernant les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel (voir Tableau 56).

Tableau 56. Différentiel de fréquence cardiaque moyenne pour chaque groupe dans chaque situation.

	Simple, <i>M (SD)</i>	Moyenne, <i>M (SD)</i>	Très complexe, <i>M (SD)</i>
AT	3.12 (7.92)	4.10 (6.72)	7.20 (10.49)
FinPB	-0.20 (5.09)	.89 (9.67)	-4.04 (5.72)

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.18, p < .01$). Pour les novices, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = .19, p < .05$) tandis qu'aucun effet linéaire n'était observé pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($\beta = .04, n.s$).

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .15, p < .01$). Pour les novices, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un faible niveau du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = -.35, p < .001$) tandis qu'aucun effet linéaire n'était observé pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($\beta = 1.53, n.s$).

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire significatif ($\beta = .24, p < .001$). Pour les novices avec apprentissage traditionnel, la hausse de vigilance subjective après chaque situation diminuait le différentiel de fréquence cardiaque moyenne ($\beta = -.29, p < .05$) tandis que pour les conducteurs en fin de permis probatoire, cela l'augmentait ($\beta = .29, p < .05$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .25, p < .001$). Un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un faible niveau du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire en situations simple ($\beta = -.39, p < .001$) et moyennement complexe ($\beta = -.27, p < .01$), tandis qu'aucun effet n'était observé en situation très complexe ($\beta = -.01, n.s$).

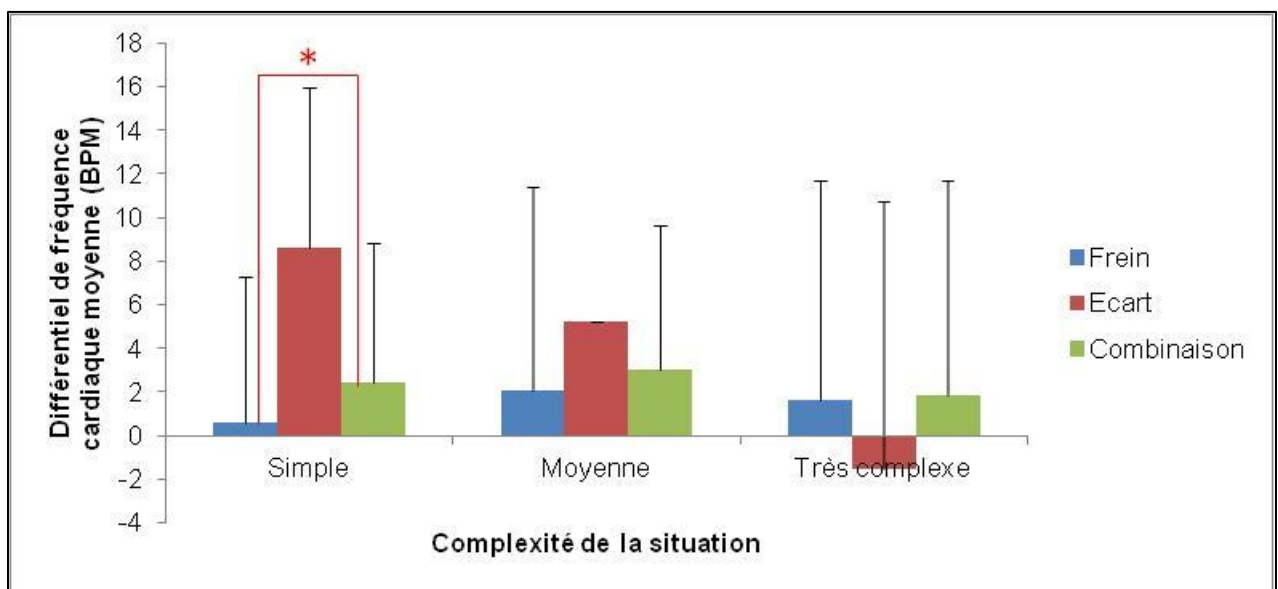
L'interaction Situation \times Activité électrodermale avant avait des effets linéaire ($\beta = -.59, p < .001$) et non linéaire ($\beta = .23, p < .001$) significatifs. Un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque avec des effets linéaires en situations simple ($\beta = .29, p < .01$) et très complexe ($\beta = .34, p < .001$). Aucun effet n'était observé en situation moyennement complexe ($\beta = .05, n.s$).

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = -.15, p < .05$) et non linéaire ($\beta = .69, p < .001$) significatifs. En situations simple et moyennement complexe,

un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation n'influait pas le différentiel de fréquence cardiaque moyenne (respectivement $\beta = .120$, *n.s* et $\beta = .05$, *n.s*), tandis qu'en situation très complexe, cela augmentait le différentiel de fréquence cardiaque ($\beta = .40$, $p < .05$).

L'interaction Situation \times Pics EDA avait un effet linéaire significatif ($\beta = .63$, $p < .001$). La hausse d'amplitude des pics de réponse électrodermale augmentait le différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire en situation moyennement complexe ($\beta = .67$, $p < .05$) tandis qu'aucun effet n'était observé en situations simple ($\beta = .01$, *n.s*) et très complexe ($\beta = .19$, *n.s*).

L'interaction Situation \times Stratégies avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.14$, $p < .01$). En situation simple, le différentiel de fréquence cardiaque était plus élevé lors de la combinaison ($M = 2.44$, $SD = 6.42$) que lors du freinage ($M = .57$, $SD = 6.72$), et aucune différence n'était observée entre ces stratégies et l'écart ($M = 8.64$, $SD = 7.31$). En situations moyennement complexe et très complexe, aucune différence n'était notée entre le freinage (respectivement : $M = 2.04$, $SD = 9.34$ et $M = 1.59$, $SD = 10.11$), l'écart (respectivement : $M = 5.21$, $SD = 0.00$ et $M = -1.54$, $SD = 12.27$) et la combinaison des deux stratégies (respectivement : $M = 3.00$, $SD = 6.67$ et $M = 1.82$, $SD = 9.85$) (voir Figure 104).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 104. Différentiel de fréquence cardiaque en fonction de la situation et de la stratégie d'évitement des piétons.

L'interaction Stratégies \times Tension subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.28$, $p < .001$). Pour le freinage, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation

entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = .21, p < .01$). A l'inverse, pour l'écart un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un faible niveau du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = -.91, p < .01$). Aucun effet n'était observé pour la combinaison ($\beta = .05, n.s$).

L'interaction Stratégies \times Vigilance subjective avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .44, p < .001$). Pour le freinage, un niveau élevé de vigilance subjective avant chaque situation entraînait un faible niveau du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = -.21, p < .01$). A l'inverse, pour l'écart, cela entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque ($\beta = .80, p < .05$). Pour la combinaison, aucun effet n'était observé ($\beta = -.17, n.s$).

L'interaction Stratégies \times Activité électrodermale avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .10, p < .01$). Pour le freinage et l'écart, aucun effet significatif n'était observé (respectivement $\beta = .03, n.s$ et $\beta = .55, n.s$), tandis que pour la combinaison, un niveau élevé de l'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = .26, p < .01$).

L'interaction Stratégies \times Pics EDA avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.13, p < .05$). Pour le freinage et l'écart, aucun effet linéaire n'était observé (respectivement $\beta = .07, n.s$ et $\beta = .28, n.s$), tandis que pour la combinaison, la hausse de l'amplitude des pics de réponse électrodermale augmentait le différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = .29, p < .01$).

- **Corrélation entre données subjectives et physiologiques**

La charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque moyenne n'étaient pas significativement corrélés ($r = -.03, n.s$).

Résumé

CHARGE DE TRAVAIL SUBJECTIVE (CTS)	
Facteurs entraînant une hausse de CTS	Facteurs entraînant une baisse de CTS
↓ Expérience => ↑ Tension subjective après	↑ Vigilance subjective avant => ↑ Vigilance subjective après
<i>Pour les novices en situation très complexe :</i> ↑ Tension subjective après	<i>En situations moyenne et très complexe :</i> ↑ Vigilance subjective après
<i>Pour les FinPB en situation simple :</i> ↑ Tension subjective après	
↑ Activité électrodermale avant	
<i>Pour les novices :</i> - ↑ Tension subjective avant - ↑ Ratio EEG avant - ↑ Amplitude des réponses électrodermales - ↑ Différentiel du ratio EEG	<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> - ↑ Vigilance subjective après - ↑ Ratio EEG avant
<i>En situation simple :</i> ↑ Tension subjective après	<i>En situation très complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant
<i>En situation moyennement complexe :</i> ↑ Tension subjective avant	<i>Pour la stratégie « écart » :</i> ↑ Ratio EEG avant
DIFFERENTIEL DE FREQUENCE CARDIAQUE MOYENNE (DFC)	
Facteurs entraînant une hausse de DFC	Facteurs entraînant une baisse de DFC
↑ Tension subjective après (non linéaire)	↑ Tension subjective après (linéaire)
↑ Différentiel du ratio EEG (non linéaire)	↑ Différentiel du ratio EEG (linéaire)
<i>Pour les novices :</i> ↑ Tension subjective avant	<i>Pour les novices :</i> - ↑ Vigilance subjective avant - ↑ Vigilance subjective après
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↑ Vigilance subjective après	
<i>En situations simple et très complexe :</i> ↑ Activité électrodermale avant	<i>En simple et moyennement complexe :</i> ↑ Vigilance subjective avant
<i>En situation moyennement complexe :</i> ↑ Amplitude des réponses électrodermales	
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant	
<i>Pour la stratégie « Freinage » :</i> ↑ Tension subjective avant	<i>Pour la stratégie « Freinage » :</i> ↑ Vigilance subjective avant
<i>Pour la stratégie « Ecart » :</i> ↑ Vigilance subjective avant	<i>Pour la stratégie « Ecart » :</i> ↑ Tension subjective avant
<i>Pour la stratégie « Combinaison » :</i> - ↑ Activité électrodermale avant	

- ↑ Amplitude des réponses électrodermales	
DFC des novices > DFC des conducteurs à la fin du permis probatoire	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> DFC en situation simple > DFC en situation très complexe (tendanciel)	
<i>En situation simple :</i> DFC pour la stratégie « Combinaison » > DFC pour la stratégie « Freinage »	
Corrélation CTS – DFC : n.s	

Note : ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

3.3.2 Tension après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs des données subjectives et physiologiques de la tension subjective après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la tension, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 105). Une corrélation entre les données subjectives et physiologiques de la tension était ensuite réalisée.

- **Données subjectives**

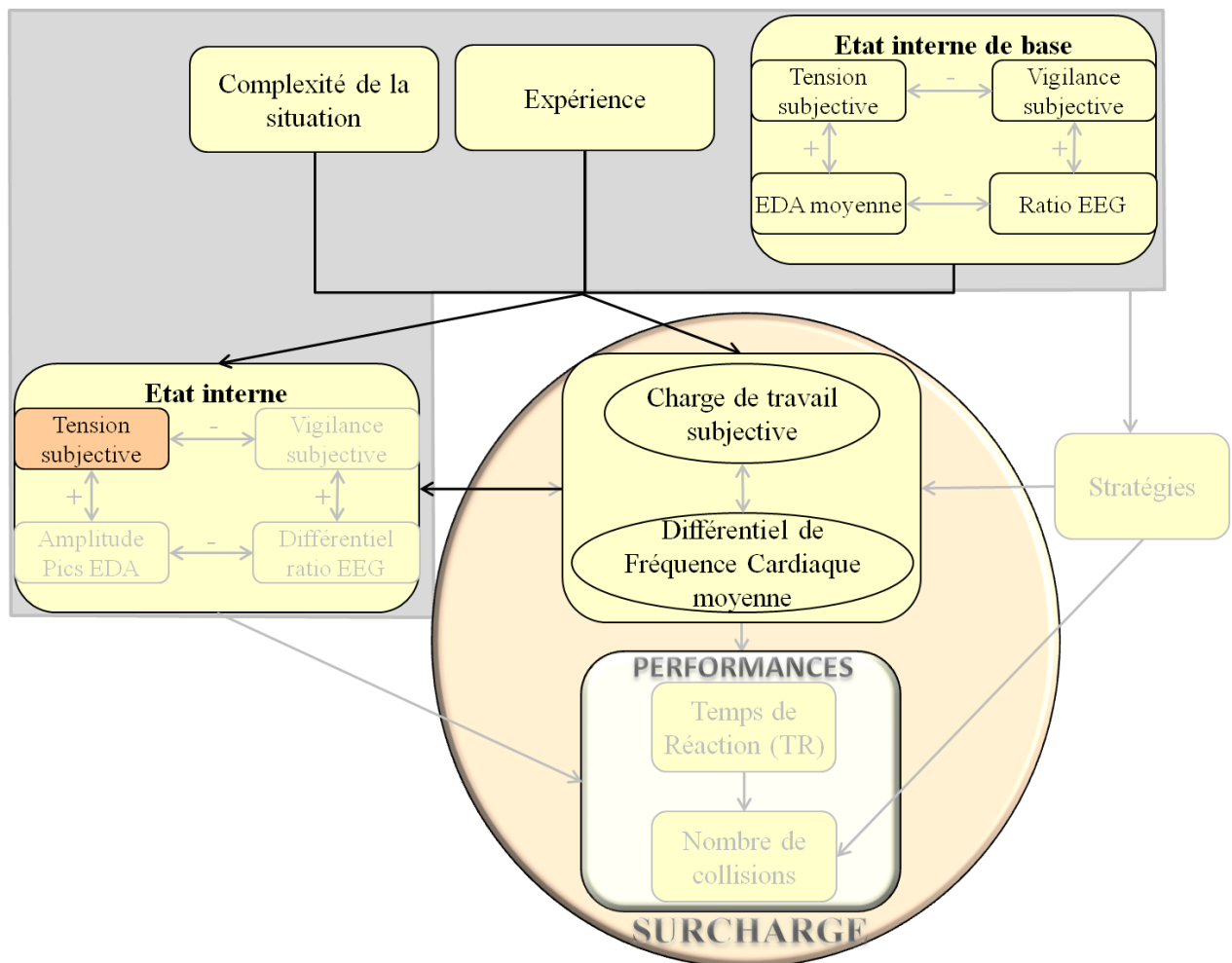


Figure 105. Prédicteurs de la tension subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

Plusieurs effets indirects étaient observés (voir Tableau 57). La tension subjective avant chaque situation avait un effet sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective ($z = 2.11, p < .05$). Un niveau élevé de tension avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge ($\beta = .14, p < .05$), qui à son tour provoquait un niveau élevé de tension après chaque situation ($\beta = .19, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective ($z = -2.24, p < .05$). L'interaction Expérience \times Tension subjective avant influençait la charge ($\beta = -.15, p < .05$), avec un niveau élevé de tension qui entraînait un niveau élevé de charge uniquement pour les novices ($\beta = .28, p < .001$), et aucun effet pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($\beta = -.01, n.s$). À son tour, un haut niveau de charge entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .27, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant avait un effet sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective ($z = -3.46, p < .001$). L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant influençait la charge ($\beta = -.25, p < .05$). Ainsi, pour les novices, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .18, p < .05$) tandis qu'elle entraînait un faible niveau de charge pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($\beta = -.37, p < .001$). À son tour, un haut niveau de charge entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .32, p < .001$).

L'interaction Situation \times EDA avant avait un effet sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective ($z = 2.46, p < .05$). L'interaction Situation \times EDA avant influençait la charge ($\beta = .17, p < .01$). L'activité électrodermale avant chaque situation était plus élevée pour les novices ($M = 5.91, SD = 3.45$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 4.40, SD = 2.22$). La charge de travail subjective ne variait pas entre les novices ($M = 11.24, SD = 2.89$) et les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 11.49, SD = 2.92$). Un haut niveau de charge entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .28, p < .001$).

Tableau 57. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	.70	.43
Situation (Sit)	1.03	.10
Vigilance subjective avant (VSav)	.53	-.54
Tension subjective avant (TSav)	2.11 *	-.88
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.18	.46
Ratio EEG avant (EEGav)	-.95	1.03
Interaction Exp * Sit	.98	-.08
Interaction Exp * TSav	-2.24 *	-.46
Interaction Exp * VSav	-1.10	.34
Interaction Exp * EDAav	-.36	.75
Interaction Exp * EEGav	-3.46 **	-.73
Interaction Sit * TSav	1.45	.69
Interaction Sit * VSav	.02	.68
Interaction Sit * EDAav	2.46 *	-.37
Interaction Sit * EEGav	-.01	.61
Interaction TSav * VSav	-1.14	.60
Interaction EDAav * EEGav	-1.27	.60

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet significatif sur la tension subjective après chaque situation ($t(286) = 2.94$), $p < .01$, avec des scores plus élevés pour les novices ($M = 7.21$, $SD = 3.15$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 6.29$, $SD = 2.02$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de la tension subjective après chaque situation étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 60.70% de la variance de la tension subjective (voir Tableau 58).

Tableau 58. Prédicteurs des niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de vigilance.

Variables indépendantes \ Variables dépendantes	Tension subjective après		Pics EDA		Vigilance subjective après		Différentiel du ratio EEG	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Situation (Sit)	.05	.43 **	.17 **	.03	.17 **	.03	.21 **	-.08
Tension subjective avant (TSav)			.11 *	.02	.11 *	.02	.22 *	-.34
Vigilance subjective avant (VSav)	-.19 **	-.15	.07	-.09	.07	-.09	-.05	.16
EDA avant (EDAav)	-.01	1.01 **	.81 **	.50	.81 **	.49	.16 *	.03
Ratio EEG avant (EEGav)	-.15 *	.58 **			-.01	.04	.17 *	.51 **
Interaction Exp * Sit	-.12 *		-.01		-.01		.18 **	
Interaction Exp * TSav			-.03		-.03		.10	
Interaction Exp * VSav	.14				.01		-.01	
Interaction Exp * EDAav	.38 **		.05		.05		.21	
Interaction Exp * EEGav			.02				.15 *	
Interaction Sit * TSav	-.26 **	-.58 **	.01	-.03	.01	-.04	-.31 **	-.21 *
Interaction Sit * VSav	.07	-.48 **	.06 *	.11 *	.06 *	.11 **	.16	.06
Interaction Sit * EDAav			-.06	-.14	-.06	-.13	-.27 **	-.04
Interaction Sit * EEGav	-.18 **	-.23 *	-.05	-.13 **	-.06	-.13 **	-.33 **	.02
Interaction TSav * VSav	-.28 **	.79 **	.09	.07	.08	.07	.27 **	.16
Interaction EDAav * EEGav	.15 *	.31	-.13 **	-.34	-.13 **	-.34	-.24 *	-.47 **
Charge de travail subjective (CTS)	.29 **	.22 *	-.08 *	.01	-.08 *	.01	.24 **	.43 **
Différentiel Fréquence Cardiaque (DFC)	-.07	.70 *	.08 *	.27 *	.08 *	.27 *	.18 *	-.43 *
Interaction Exp * CTS	-.41 **		.11 **		.11 **		-.22 **	
Interaction Exp * DFC	.10		-.09		-.08		.03	
Interaction Sit * CTS	-.11 *	-.14	-.01	.07 *	-.01	.07 *	.15 *	-.38 **
Interaction Sit * DFC	.10	-.42 *	.22 **	-.16 *	.22 **	-.16 *	-.05	.30 *
Interaction TSav * CTS	.01	.15 *	.02	-.02	.01	-.01	.19 *	.13
Interaction VSav * CTS	.21 **	-.06	-.04	-.09 *	-.04	-.09 *	.12	-.24
Interaction TSav * DFC	-.03	.63 **	.03	-.14 *	.03	-.14 *	-.09	.20
Interaction VSav * DFC	-.24 *	-.80 **	.16 *	.01	.16 *	-.01	.20	.37 *
Interaction EDAav * CTS	-.23 **	-.47 **	.08 *	-.04	.08 *	-.04	-.13	.06
Interaction EEGav * CTS	.07	-.65 **	-.03	.13	-.03	.12	.18 *	-.60 **
Interaction EDAav * DFC	.32 **	-.45 **	.04	-.23 **	.04	-.23 **	.08	-.04
Interaction EEGav * DFC	.04	-.12	.07	.04	.06	.08	.02	.09

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

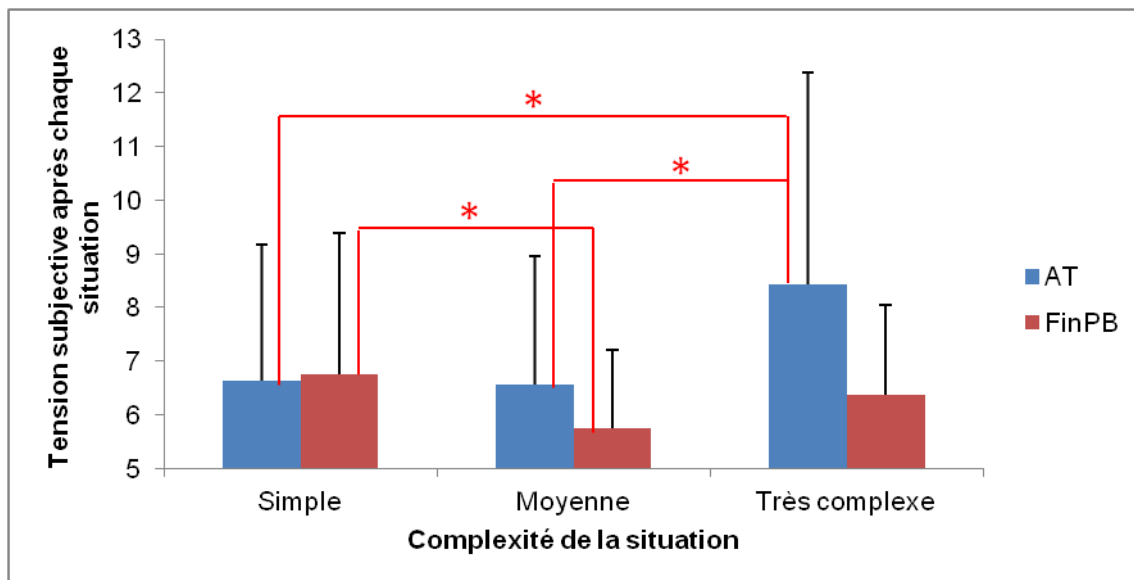
➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de vigilance avant chaque situation diminuait la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = -.19$, $p < .001$).

Un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = 1.01$, $p < .001$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience × Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.12, p < .01$). Pour les novices, la tension subjective après chaque situation était plus élevée en situation très complexe ($M = 8.44, SD = 3.95$) qu'en situations simple ($M = 6.62, SD = 2.55$) et moyennement complexe ($M = 6.56, SD = 2.40$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les scores étaient plus élevés en situation simple ($M = 6.75, SD = 2.64$) qu'en situation moyennement complexe ($M = 5.75, SD = 1.45$), et aucune différence significative n'était observée entre la situation très complexe ($M = 6.37, SD = 1.67$) et les deux autres (voir Figure 106).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 106. Tension subjective après chaque situation pour chaque groupe dans chaque situation.

L'interaction Expérience × Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.41, p < .001$). Pour les novices, la charge de travail subjective augmentait la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .45, p < .001$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .05, n.s.$).

L'interaction Situation × Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = -.18, p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.23, p < .01$) significatifs. En situations moyennement complexe et très complexe, un niveau élevé du ratio avant chaque situation entraînait un niveau élevé de

tension subjective après chaque situation avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = .83$, $p < .05$ et $\beta = .80$, $p < .05$), tandis qu'en situation simple, aucun effet n'était observé ($\beta = -.13$, *n.s*).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.11$, $p < .05$). En situations simple et très complexe, la hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .36$, $p < .001$ et $\beta = .51$, $p < .01$), tandis qu'en situation moyennement complexe, aucun effet n'était observé ($\beta = .10$, *n.s*).

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.42$, $p < .01$). En situation simple, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait la tension subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -.22$, $p < .05$) tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .07$, *n.s* et $\beta = .13$, *n.s*).

- **Données physiologiques : Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale**

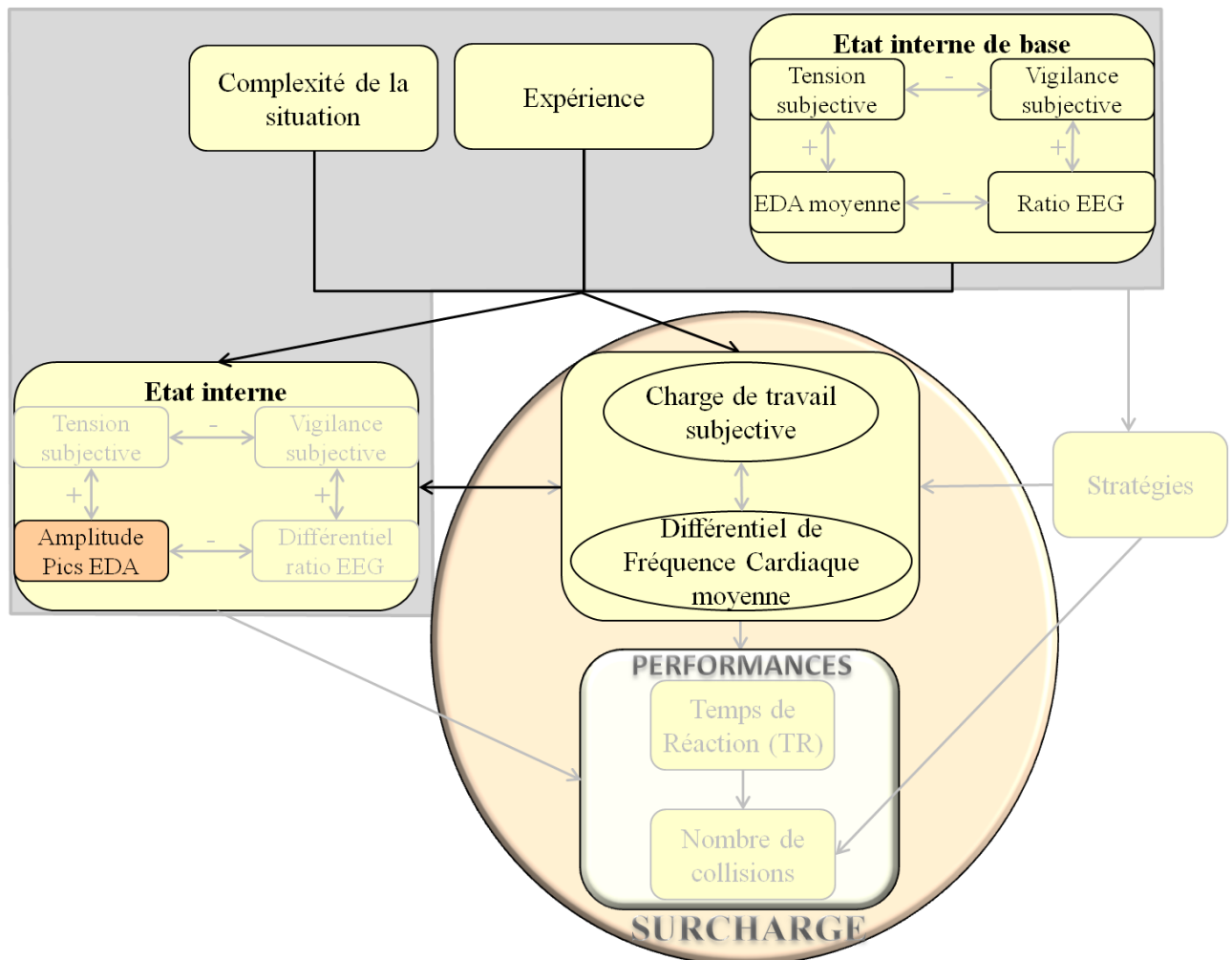


Figure 107. Prédicteurs de l'amplitude moyenne des pics de réponse électrodermale.

Test de Sobel : effets indirects

L'EEG avant chaque situation avait un effet sur l'amplitude moyenne des pics de la réponse électrodermale *via* le différentiel de la fréquence cardiaque moyenne ($z = 2.44, p < .05$). Un niveau élevé d'EEG avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque ($\beta = .20, p < .001$), qui à son tour provoquait une amplitude moyenne élevée des pics de réponse électrodermale ($\beta = .20, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant avait un effet sur l'amplitude moyenne des pics de la réponse électrodermale *via* le différentiel de la fréquence cardiaque moyenne ($z = 2.10, p < .05$). L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant influençait le différentiel de fréquence cardiaque ($\beta = .19, p < .01$). Pour les novices, un niveau élevé de

vigilance subjective avant chaque situation entraînait un faible niveau du différentiel de fréquence cardiaque avec un effet linéaire ($\beta = -.35, p < .001$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .04, n.s$). Un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque provoquait une amplitude moyenne élevée des pics de réponse électrodermale ($\beta = .16, p < .01$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur l'amplitude moyenne des pics de la réponse électrodermale (voir Tableau 83, Annexe 14, p 436).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet significatif sur l'amplitude des pics de réponse électrodermale ($t(286) = 5.37, p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ($M = 7.83, SD = 4.47$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 5.51, SD = 2.61$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de l'amplitude des pics de la réponse électrodermale étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 80.99% de la variance l'amplitude des pics de la réponse électrodermale (voir Tableau 58).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de la complexité de la situation augmentait l'amplitude de la réponse électrodermale avec un effet linéaire ($\beta = .17, p < .001$), avec des amplitudes plus élevées en situation très complexe ($M = 7.28, SD = 4.25$) qu'en situation simple ($M = 5.96, SD = 3.31$). Aucune différence n'était notée entre la situation moyennement complexe ($M = 6.79, SD = 3.81$) et les deux autres.

Des niveaux élevés de tension subjective et d'activité électrodermale avant chaque situation ainsi que la hausse de charge de travail subjective entraînaient un niveau élevé d'amplitude de la réponse électrodermale avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .11, p < .01$; $\beta = .81, p < .001$ et $\beta = -.08, p < .01$).

La hausse du différentiel de fréquence cardiaque augmentait l'amplitude de la réponse électrodermale avec des effets linéaire ($\beta = .08, p < .01$) et non linéaire ($\beta = .27, p < .01$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.13, p < .001$). En situation simple, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un faible niveau d'amplitude des pics de réponse électrodermale avec un effet linéaire ($\beta = -.25, p < .05$), tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = -.20, n.s$ et $\beta = -.18, n.s$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .07, p < .01$). En situation simple, la hausse de charge de travail subjective diminuait l'amplitude des pics de réponse électrodermale avec un effet linéaire ($\beta = -.25, p < .05$), tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = -.09, n.s$ et $\beta = .11, n.s$).

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque avait des effets linéaire ($\beta = .22, p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.16, p < .01$) significatifs. En situation très complexe, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait l'amplitude des pics de réponse électrodermale avec un effet non linéaire ($\beta = -.55, p < .001$), tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .01, n.s$ et $\beta = .18, n.s$).

- **Corrélation entre données subjectives et physiologiques**

La tension subjective après chaque situation était positivement corrélée à l'amplitude des pics de réponse électrodermale ($r = .15, p < .05$).

Résumé

TENSION SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (TSap)	
Facteurs entraînant une hausse de TSap	Facteurs entraînant une baisse de TSap
<i>Pour les novices :</i> - ↑ Tension subjective avant => ↑ Charge de travail subjective - ↑ Ratio EEG avant => ↑ Charge de travail subjective	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↓ Ratio EEG avant => ↑ Charge de travail subjective	
↑ Activité électrodermale avant	↑ Vigilance subjective avant
<i>Pour les novices :</i> ↑ Charge de travail subjective	
<i>En situations simple et très complexe :</i> ↑ Charge de travail subjective	<i>En situation simple :</i> ↑ Différentiel de fréquence cardiaque
<i>En situations moyenne et très complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant	
TSap pour les novices > TSap pour ceux à la fin du permis probatoire	
<i>Pour les novices :</i> TSap en situation très complexe > TSap en situations simple et moyennement complexe	
<i>Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire :</i> TSap en situation simple > TSap en situation moyennement complexe	
AMPLITUDE DES REPONSES ELECTRODERMALES (PicsEDA)	
Facteurs entraînant une hausse des PicsEDA	Facteurs entraînant une baisse des PicsEDA
↑ Ratio EEG avant => ↑ Différentiel fréquence cardiaque	<i>En situation simple :</i> - ↑ Ratio EEG avant - ↑ Charge de travail subjective
<i>Pour les novices :</i> ↓ Vigilance subjective avant => ↑ Différentiel fréquence cardiaque	<i>En situation très complexe :</i> ↑ Différentiel de fréquence cardiaque
↑ Tension subjective avant	
↑ Activité électrodermale avant	
↑ Différentiel de fréquence cardiaque	
PicsEDA des novices > PicsEDA des conducteurs à la fin du permis probatoire	
PicsEDA en situation très complexe > PicsEDA en situation simple	
Corrélation TSap – PicsEDA : positive	

Note : ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

3.3.3 Vigilance après chaque situation

L'ensemble des prédicteurs des données subjectives et physiologiques de la vigilance subjective après chaque situation était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la vigilance, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 108). Une corrélation entre les données subjectives et physiologiques de la vigilance était ensuite réalisée.

- **Données subjectives**

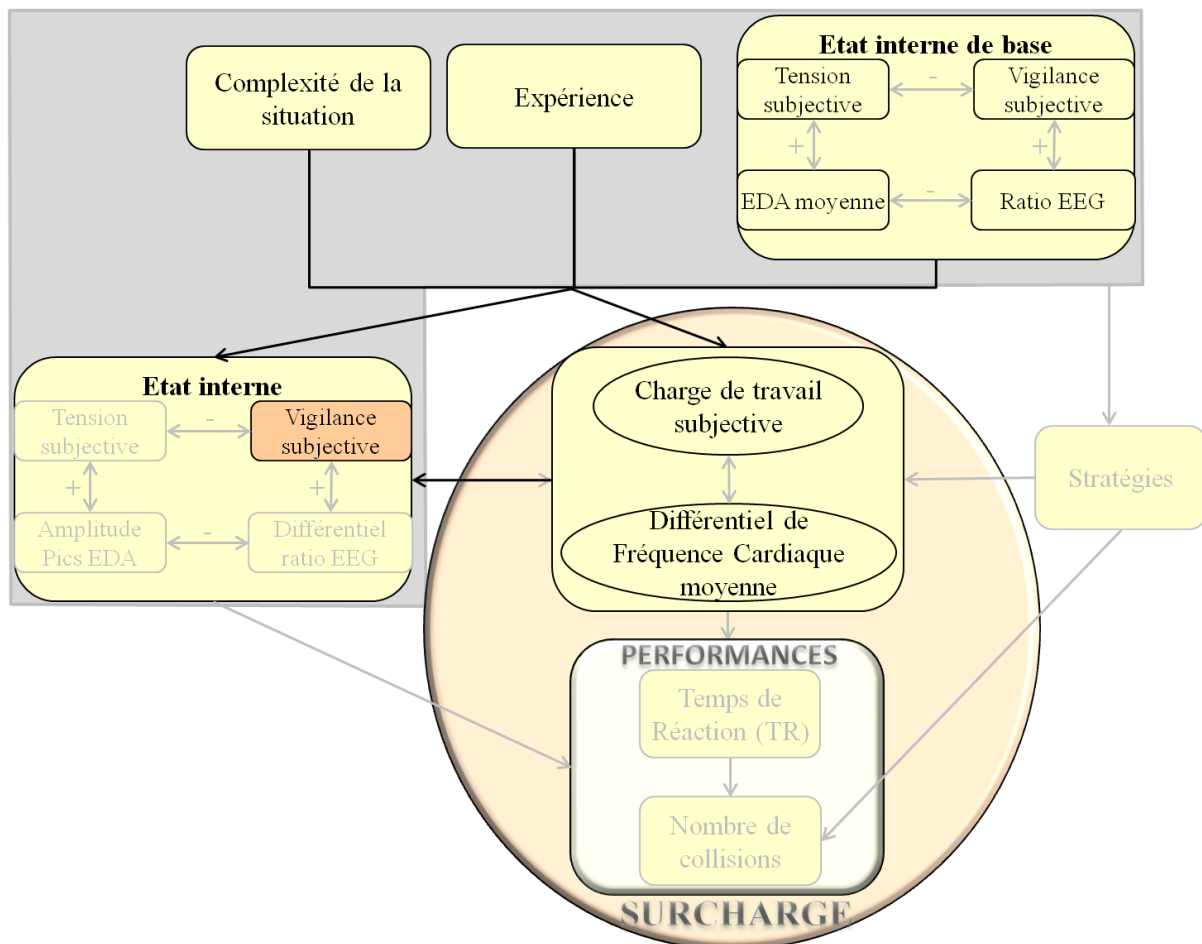


Figure 108. Prédicteurs de la vigilance subjective après chaque situation.

Test de Sobel : effets indirects

L'interaction Expérience \times EEG avant chaque situation avait un effet sur la vigilance subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective ($z = 2.33, p < .05$). L'interaction Expérience \times EEG avant influençait la charge ($\beta = -.25, p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .18, p < .05$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, elle entraînait un faible niveau de charge ($\beta = -.37, p < .001$). Un niveau élevé de charge de travail subjective provoquait ensuite un faible niveau de vigilance subjective après chaque situation ($\beta = -.17, p < .01$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur la vigilance subjective après chaque situation (voir Tableau 84, Annexe 14, p 437).

T de Student : effet simple de l'expérience

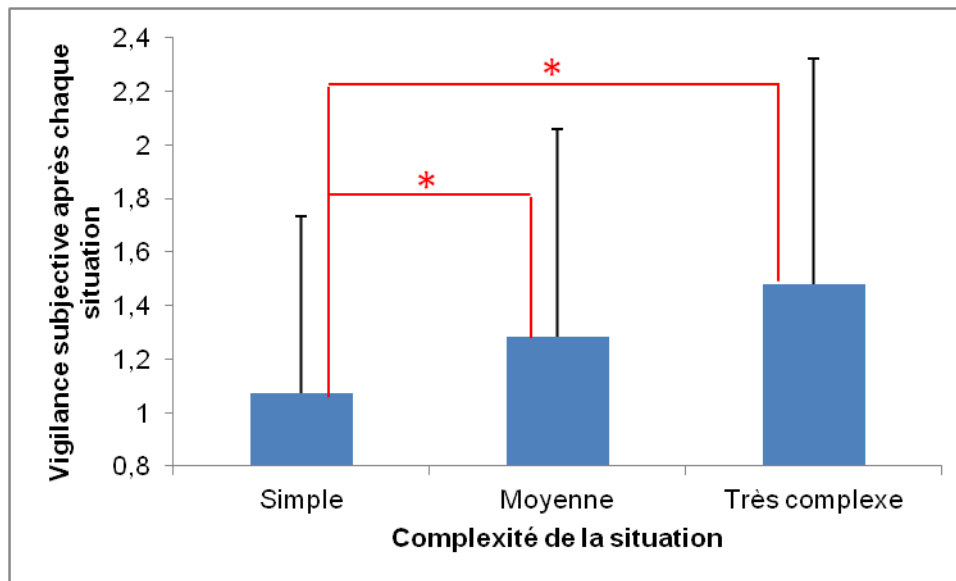
L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la vigilance subjective après chaque situation ($t(286) = -1.24, n.s$), avec des scores qui ne variaient pas entre les novices ($M = 1.22, SD = .87$) et les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 1.34, SD = .67$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens de la vigilance subjective après chaque situation étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 80.99% de la variance de la vigilance subjective (voir Tableau 58).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de complexité de la situation augmentait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .17, p < .001$), avec des scores plus faibles en situation simple ($M = 1.07, SD = .66$) qu'en situations moyennement complexe ($M = 1.28, SD = .78$) et très complexe ($M = 1.48, SD = .84$) (voir Figure 109).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 109. Vigilance subjective après passation dans chaque situation.

Un niveau élevé de tension subjective et d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé de vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .11, p < .01$ et $\beta = .81, p < .01$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = .11, p < .001$). Pour les novices, la charge de travail subjective n'avait aucun effet sur la vigilance subjective après chaque situation ($\beta = -.04, n.s$), tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse de charge diminuait la vigilance avec un effet linéaire ($\beta = -.29, p < .001$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = .06, p < .01$) et non linéaire ($\beta = .11, p < .001$) significatifs. En situations simple et moyennement complexe, la hausse de vigilance subjective avant chaque situation diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = -1.34, p < .001$ et $\beta = -.67, p < .05$), tandis qu'en situation très complexe, aucun effet non linéaire n'était observé ($\beta = -.57, n.s$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .07, p < .01$). En situation simple, la hausse de charge de travail subjective

augmentait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -1.28$, $p < .05$) tandis qu'aucun effet n'était observé pour les situations moyennement complexe et très complexe (respectivement : $\beta = -.17$, *n.s* et $\beta = -.18$, *n.s*).

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque avait des effets linéaire ($\beta = .22$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.16$, $p < .01$) significatifs. En situation simple, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = -.29$, $p < .01$) tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement $\beta = .07$, *n.s* et $\beta = -.10$, *n.s*).

- **Données physiologiques : Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta**

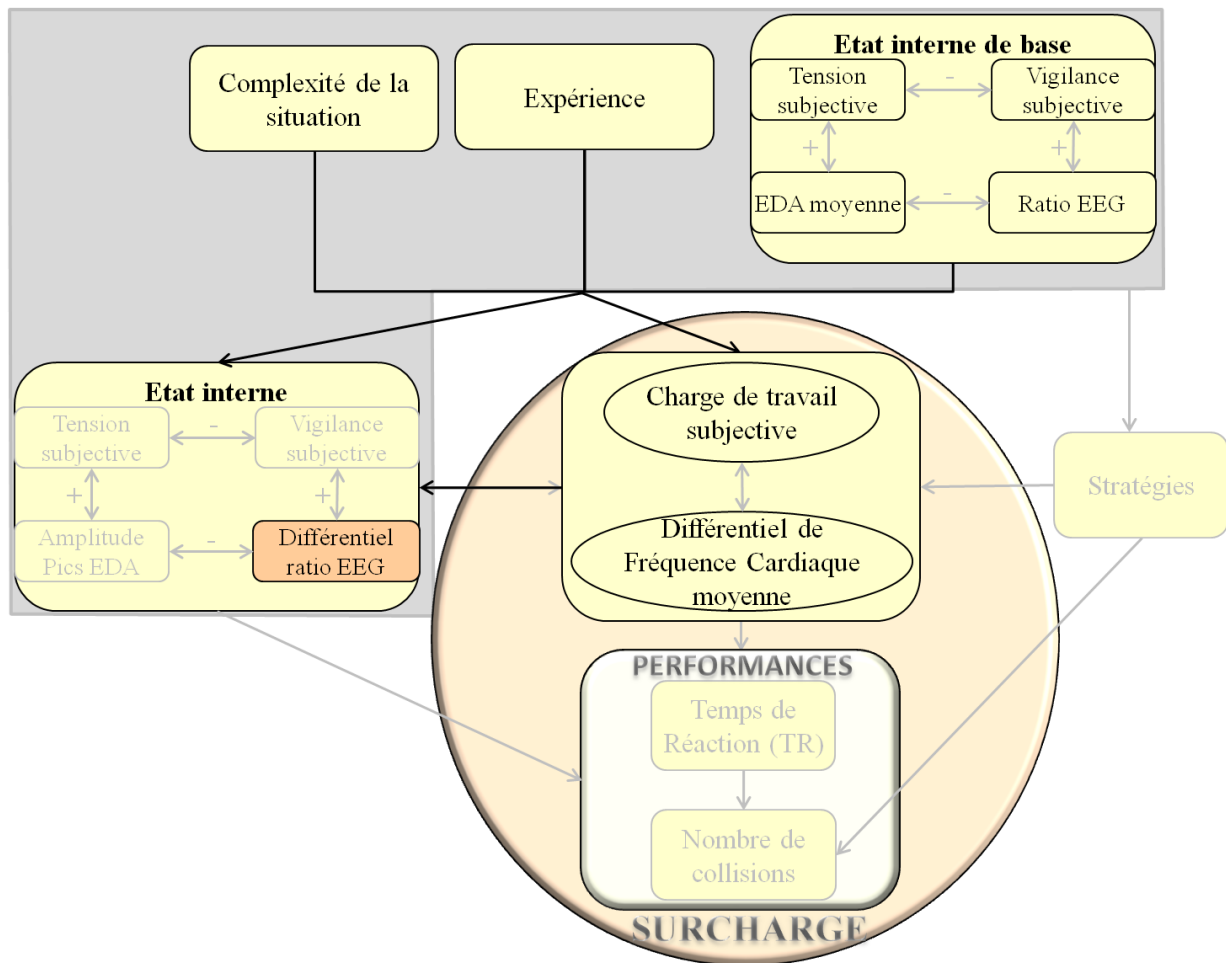


Figure 110. Prédicteurs du différentiel du ratio EEG.

Test de Sobel : effets indirects

Les données physiologiques étaient les mêmes durant les portions avec piétons et durant les portions sans piétons, dans la mesure où le ratio (alpha + theta) / beta a été analysé sur l'ensemble de chaque situation. Nous pouvons donc nous référer aux analyses préétablies concernant l'effet médiateur du différentiel de fréquence cardiaque moyenne (section 3.2.3. Vigilance après chaque situation, p 249). Ainsi, aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur le différentiel du ratio EEG.

Par rapport aux portions sans piétons, seule la charge de travail subjective attribuée aux piétons constituait un facteur supplémentaire durant les portions avec piétons. Aucun des

facteurs étudiés n'avait d'effet sur le différentiel du ratio EEG *via* la charge de travail subjective attribuée aux portions avec piétons (voir Tableau 85, Annexe 14, p 437).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet significatif sur le différentiel du ratio EEG ($t(286) = 3.84$), $p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ($M = 12.70$, $SD = 25.58$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = -12.39$, $SD = 74.11$).

Analyse de régression polynomiale

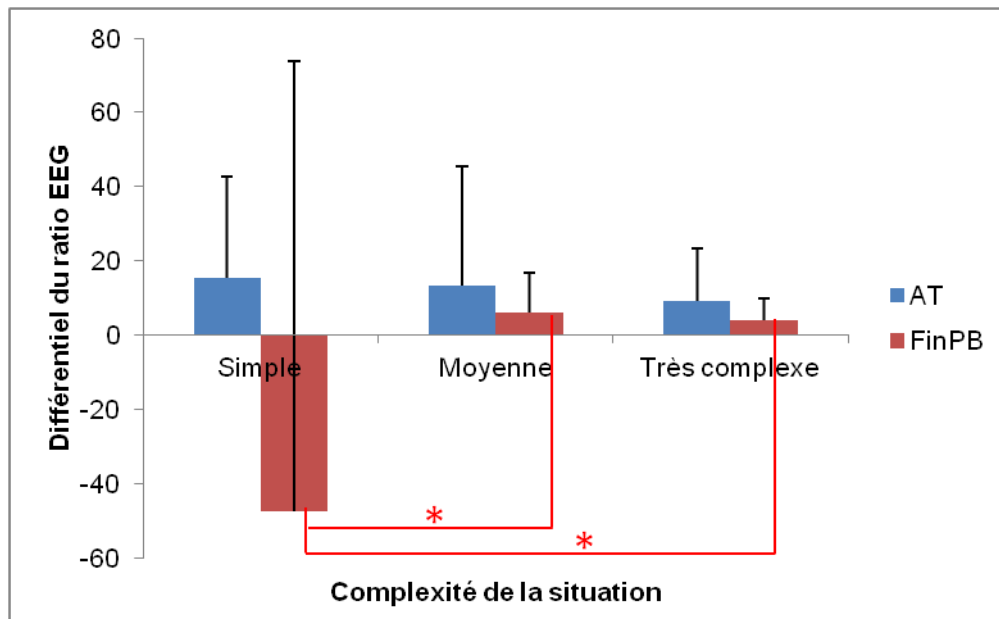
Les scores moyens du différentiel du ratio EEG étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 36.66% de la variance du différentiel du ratio EEG (voir Tableau 58).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse du différentiel de fréquence cardiaque augmentait le différentiel de ratio EEG avec un effet linéaire ($\beta = .18$, $p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.43$, $p < .01$) significatif.

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = .18$, $p < .001$). Pour les novices, le différentiel du ratio EEG ne variait pas entre les situations simple ($M = 15.46$, $SD = 27.12$), moyennement complexe ($M = 13.44$, $SD = 32.15$) et très complexe ($M = 9.21$, $SD = 14.16$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les valeurs étaient plus faibles en situation simple ($M = -47.29$, $SD = 121.22$) qu'en situations moyennement complexe ($M = 6.05$, $SD = 10.83$) et très complexe ($M = 4.06$, $SD = 5.81$) (voir Figure 111).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 111. Différentiel du ratio EEG pour chaque groupe dans chaque situation.

L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .15$, $p < .01$). Pour les novices, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel de ratio EEG avec un effet non linéaire ($\beta = .77$, $p < .01$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .16$, *n.s.*).

L'interaction Expérience \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.22$, $p < .001$). Pour les novices, la hausse de charge de travail subjective augmentait le différentiel de ratio EEG avec un effet linéaire ($\beta = .33$, $p < .001$), tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = -.06$, *n.s.*).

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = -.31$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.21$, $p < .01$) significatifs. En situation simple, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel du ratio EEG avec un effet linéaire ($\beta = .22$, $p < .05$) tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .01$, *n.s.* et $\beta = -.02$, *n.s.*).

L'interaction Situation \times Activité électrodermale avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.27$, $p < .001$). En situation simple, un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé du différentiel du ratio EEG avec un effet

linéaire ($\beta = .22, p < .05$) tandis qu'en situations moyennement complexe et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = -.06, n.s$ et $\beta = -.18, n.s$).

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.33, p < .001$). En situations simple ($\beta = .31, p < .01$) et très complexe ($\beta = .47, p < .001$), un niveau élevé du ratio EEG entraînait un niveau élevé du différentiel du ratio EEG avec un effet linéaire tandis qu'en situation moyennement complexe, elle le diminuait ($\beta = -.22, p < .05$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait des effets linéaire ($\beta = .15, p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.38, p < .001$) significatifs. En situation moyennement complexe, la hausse de charge de travail subjective augmentait le différentiel du ratio EEG avec un effet linéaire ($\beta = .43, p < .001$), tandis qu'en situations simple et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = -.08, n.s$ et $\beta = .08, n.s$).

- **Corrélation entre données subjectives et physiologiques**

La vigilance subjective après chaque situation et le différentiel du ratio EEG n'étaient pas corrélés ($r = -.02, n.s$).

Résumé

VIGILANCE SUBJECTIVE APRES CHAQUE SITUATION (VSap)	
Facteurs entraînant une hausse de VSap	Facteurs entraînant une baisse de VSap
↑ Tension subjective avant	<i>Pour les novices :</i> ↑ Ratio EEG avant => ↑ Charge de travail subjective
↑ Activité électrodermale avant	<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↓ Ratio EEG avant => ↑ Charge de travail subjective
<i>En situation simple :</i> ↑ Charge de travail subjective	<i>En situation simple :</i> ↑ Différentiel de fréquence cardiaque
	<i>En situations simple et moyenne :</i> ↑ Vigilance subjective avant
VSap en situations moyennement complexe et très complexe > VSap en situation simple	
DIFFERENTIEL DU RATIO EEG (EEG)	
Facteurs entraînant une hausse de EEG	Facteurs entraînant une baisse de EEG
↑ Différentiel de fréquence cardiaque	
<i>Pour les novices :</i> - ↑ Ratio EEG avant - ↑ Charge de travail subjective	
<i>En situation simple :</i> - ↑ Tension subjective avant - ↑ Activité électrodermale avant	
<i>En situations simple et très complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant	
<i>En situation moyennement complexe :</i> ↑ Charge de travail subjective	<i>En situation moyennement complexe :</i> ↑ Ratio EEG avant
EEG des novices > EEG des conducteurs à la fin du permis probatoire	
<i>Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire :</i> EEG en situations moyennement complexe et très complexe > EEG en situation simple	
Corrélation VSap – EEG : n.s	

Note : ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

3.3.4 Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs des stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur la charge, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 112).

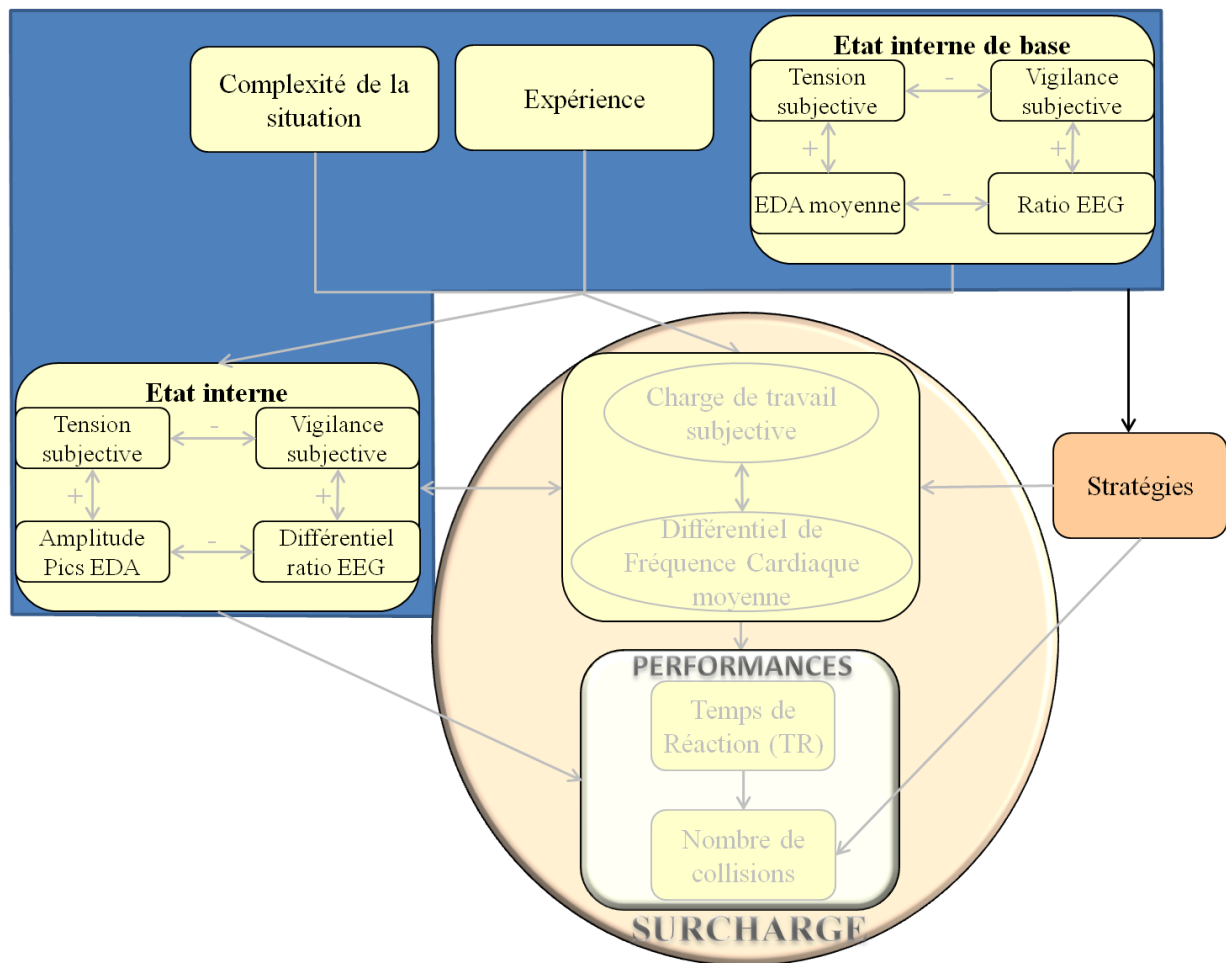


Figure 112. Prédicteurs des stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons.

Test de Sobel : effets indirects

Aucun test de Sobel n'a été réalisé dans la mesure où aucun effet indirect n'était présent.

Régression logistique : effet simple de l'expérience

L'expérience n'avait aucun effet sur les stratégies. En effet, par rapport aux conducteurs à la fin du permis probatoire, les novices n'adoptaient pas plus fréquemment la stratégie de freinage que d'écart, ni de freinage qu'une combinaison freinage-écart, ni même d'écart

qu'une combinaison (respectivement : $OR = 28$, 95% CI [-2.89, .36], *n.s* ; $OR = .70$, 95% CI [-.83, .13], *n.s* et $OR = 2.51$, 95% CI [-.73, 2.56], *n.s*).

Analyse de régression polynomiale

Les stratégies des participants étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) \times 1 (Tension subjective après chaque situation) \times 1 (Vigilance subjective après chaque situation) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Dans ce modèle, les prédicteurs étaient responsables de 18.08% de la variance (voir Tableau 59).

Tableau 59. Prédicteurs des stratégies, TR et du nombre de collisions.

Variables Indépendantes	Variables dépendantes		Stratégies		Temps de Réaction (TR)		Nombre de collisions	
	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire	β linéaire	β non linéaire
Situation (Sit)	-.06	.05	-.26	.10	.11 *	-.04		
Tension subjective avant (TSav)	.34 **	.03	-.01	-.34				
Vigilance subjective avant (VSav)	.21 *	-.28	-.13	-.05	-.06	.35		
Activité Electrodermale avant (EDAav)	-.13	.27	.17	.34	.01	.07		
Ratio EEG avant (EEGav)	-.08	.27 **	.18	.36 **				
Tension subjective après (TSap)	.08	-.35						
Vigilance subjective après (VSap)	-.29 *	.33 **	-.05	.18 *				
Pics EDA	.14 *	-.16	.22 **	-.11	.31 **	.06		
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.57	-1.90	-1.32	-.61 *				
Stratégies (Strat)					.19	-.47		
Interaction Exp * Sit	-.03		.23 **					
Interaction Exp * TSav	-.02		-.02					
Interaction Exp * VSav	.07		-.11		-.26 **			
Interaction Exp * TSap	-.07							
Interaction Exp * VSap	-.01		-.21		-.02			
Interaction Exp * EDAav	-.35 *		-.28		.27 **			
Interaction Exp * EEGav	-.06		-.02					
Interaction Exp * Pics EDA	.24 *		-.03					
Interaction Exp * EEG	-.44		-.72 **		-.55 *			
Interaction Exp * Strat					.13 *			
Interaction Sit * TSav	-.23 *	-.63 **	-.15	-.17	-.18	-.01		
Interaction Sit * VSav	.01	.16	.20	.29	.15 *	-.13		
Interaction Sit * TSap	.17 *	.27	-.04	.26	.04	.40		
Interaction Sit * VSap	-.01	-.06	-.10	-.19				
Interaction Sit * EDAav	-.45 **	-.24	-.23	-.50				
Interaction Sit * EEGav	-.14 *	-.19	-.24	-.03	-.09	-.09		

Interaction Sit * Pics EDA	.31 *	.13	.25	.18 *	.06	-.51
Interaction Sit * EEG	.76	1.24	1.18	.55	.89 **	.96
Interaction Sit * Strat					-.05	.11 *
Interaction TSav * VSav	.26 **	.40 **	-.18	-.04	.26 **	-.23
Interaction EDAav * EEGav	-.14	-.78 **	.05	-.47 **		
Interaction TSap * VSap	-.02	.17 **	-.23	-.28	.07	-.14 *
Interaction Pics EDA * EEG	-.26	.21 **	-.58 **	.57 **	-.45 *	.29
Interaction TSav * Strat					.05	.12
Interaction VSav * Strat					.04	.34 **
Interaction TSap * Strat					-.01	-.17
Interaction VSap * Strat					-.11	.04
Interaction EDAav * Strat					.16 *	-.03
Interaction EEGav * Strat					-.18 **	.22 **
Interaction Pics EDA * Strat					.04	.16
Interaction EEG * Strat					.34 *	.33
Charge de travail subjective (CTS)			.06	-.18		
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)			-.01	.79	.10	-1.25
Interaction Exp * CTS			.18		.02	
Interaction Sit * CTS			.11 *	-.16	.01	.03
Interaction Exp * DFC			.08		-.11	
Interaction Sit * DFC			.04	-.52	-.01	.58
Interaction TSav * CTS			.25	.05	.17 *	.06
Interaction VSav * CTS			.05	-.10	-.11	-.15 *
Interaction TSap * CTS			.18	-.08	-.05	-.01
Interaction VSap * CTS			-.04	.12	.11 *	.20 **
Interaction TSav * DFC			-.12	.35	.17 *	-.20
Interaction VSav * DFC			.56	-.03	-.26 **	.47
Interaction TSap * DFC			-.20	.27	.21	-.62 **
Interaction VSap * DFC			-.36	-.09	.10	-.09
Interaction EDAav * CTS			-.22 **	.34	.10	.03
Interaction EEGav * CTS			.26 **	-.30 *		
Interaction Pics EDA * CTS			-.11	-.29		
Interaction EEG * CTS			.29	1.82	1.27 **	-1.61 **
Interaction EDAav * DFC			-.17	-.45	.27 **	.41
Interaction EEGav * DFC			.08	.06	.06	-.03
Interaction Pics EDA * DFC			-.11 *	-.02	-.14 *	.04
Interaction EEG * DFC			-1.02	-.18	.12	2.94 **
Interaction Strat * CTS					-.01	.22
Interaction Strat * DFC					.01	.25
Temps de Réaction (TR)					.33	-103.11 **
Interaction Exp * TR					-.03	
Interaction Sit * TR					-.05	.40
Interaction TSav * TR					-.17 *	.41 *
Interaction VSav * TR					.05	-.26 **
Interaction TSap * TR					-.01	-.07
Interaction VSap * TR					.02	-.09
Interaction Strat * TR					-.01	.14

Interaction CTS * TR					.22 **	-.07
Interaction EDAav * TR					-.14	.23
Interaction EEGav * TR					.08	-.29 *
Interaction Pics EDA * TR					.14 *	.16 *
Interaction EEG * TR					.17	-.32 *
Interaction DFC * TR					.24 **	.34

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

➤ *Effets simples principaux significatifs*

Pour l'ensemble des effets simples principaux significatifs, les analyses post-hoc étaient non significatives.

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = -.23$, $p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.63$, $p < .001$) sur les stratégies d'évitement des piétons. En situation moyennement complexe, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation avait tendance à provoquer 0,85 fois moins de chance de freiner que de faire une combinaison ($OR = .85$, 95% CI [-.34, .02], $p = .08$). Aucun autre effet n'était observé sur les stratégies en fonction de la situation (voir Tableau 60).

Tableau 60. Effet de la tension subjective avant chaque situation sur les stratégies en fonction de la situation.

Stratégies	Simple		Moyennement complexe		Très complexe	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Freinage et écart	1.00	-.48, .49	.90	-.69, .48	.83	-.53, .14
Freinage et combinaison	.90	-.24, .04	.85	-.34, .02	1.01	-.15, .16
Ecart et combinaison	.88	-.70, .45	.92	-.56, .41	1.20	-.16, .53

Note: * $p < .05$; ** $p < .001$

L'interaction Situation \times Tension subjective après avait un effet linéaire sur les stratégies d'évitement des piétons ($\beta = .17, p < .01$). En situation simple, la hausse de tension subjective après chaque situation entraînait une tendance à ce qu'il y ait 0,59 fois moins de freinages que d'écart ($OR = .59, 95\% \text{ CI } [-1.05, .01], p = .05$), et 0,82 fois moins de freinages que de combinaisons ($OR = .82, 95\% \text{ CI } [-.38, -.02], p < .05$). Aucun autre effet sur les stratégies n'était observé en fonction des situations (voir Tableau 61).

Tableau 61. Effet de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies en fonction de la situation.

Stratégies	Simple		Moyennement complexe		Très complexe	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Freinage et écart	.59	-1.05, .01	.92	-.42, .03	1.13	-.40, .63
Freinage et combinaison	.82 *	-.38, -.02	.86	-.36, .05	.92	-.20, .05
Ecart et combinaison	1.16	-.20, .50	.82	-.26, .35	.82	-.73, .33

Note: * $p < .05$; ** $p < .001$

Résumé

STRATEGIES D'EVITEMENT DES 2 ^e ET 3 ^e PIETONS (Strat)
<p><i>En situation simple</i> : Hausse Tension subjective après</p> <p>=> Probabilité « écart » > Probabilité « Frein » (tendanciel)</p> <p>ET</p> <p>=> Probabilité « Combinaison » > Probabilité « Frein »</p>
<p><i>En situation moyennement complexe</i> : Hausse Tension subjective avant</p> <p>=> Probabilité « Frein » > Probabilité « Combinaison » (tendanciel)</p>

3.3.5 Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs des Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2^e et 3^e piétons était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur les TR, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 113).

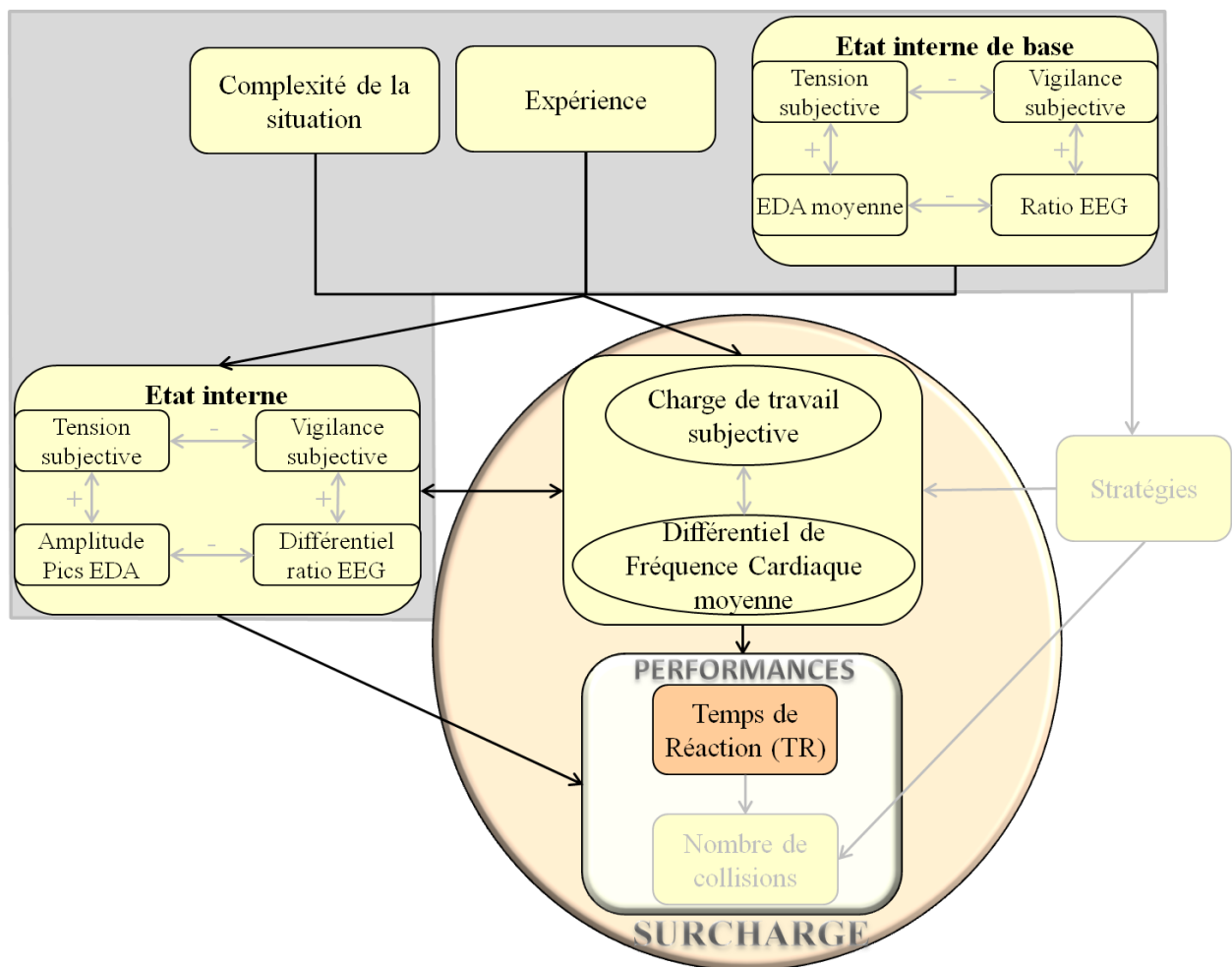


Figure 113. Prédicteurs des temps de réaction (performance).

Test de Sobel : effets indirects

La tension subjective après chaque situation avait un effet sur les TR *via* la charge de travail subjective ($z = 2.28, p < .05$). Un niveau élevé de tension entraînait un haut niveau de charge ($\beta = .28, p < .001$), qui à son tour provoquait un allongement des TR ($\beta = .16, p < .05$).

L'interaction Expérience \times Tension subjective après avait un effet sur les TR *via* la charge de travail subjective ($z = -2.45, p < .05$). L'interaction Expérience \times Tension subjective après avait un effet sur la charge ($\beta = -.25, p < .001$). Pour les novices, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait la charge de travail subjective ($\beta = .45, p < .001$), tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .05, n.s$). Un haut niveau de charge de travail subjective provoquait ensuite un allongement des TR ($\beta = .18, p < .01$).

Aucun autre facteur étudié n'avait d'effet indirect sur les TR (voir Tableaux 86 et 87, Annexe 14, p 438-439).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet sur les TR ($t(286) = 4.59, p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ($M = .83, SD = .36$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = .67, SD = .20$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens des TR étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs étaient responsables de 28.80% de la variance des scores moyens des TR (voir Tableau 59).

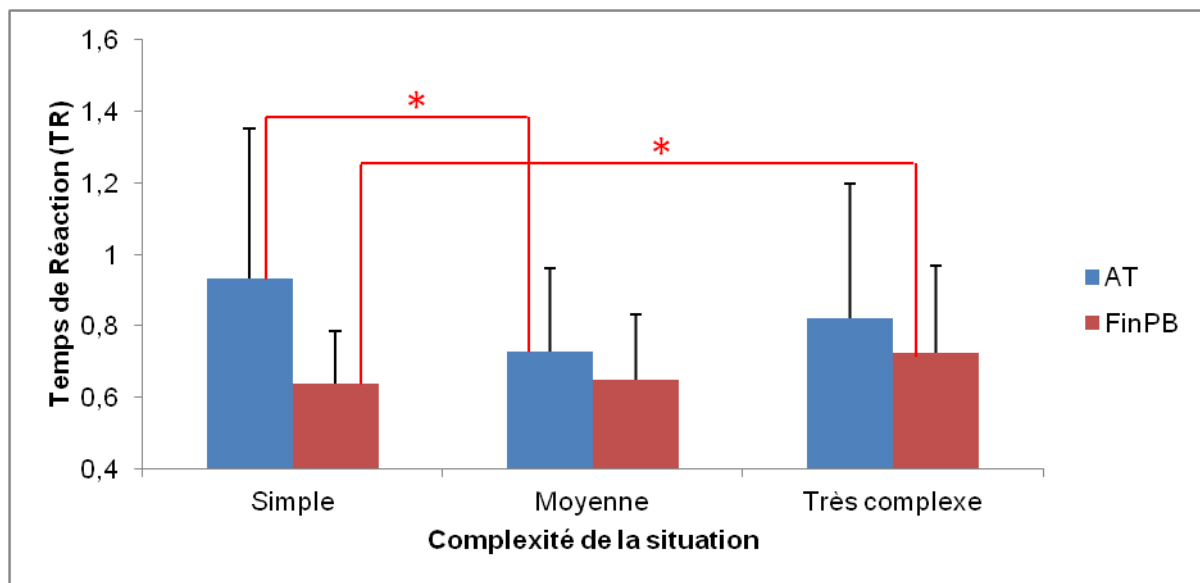
➤ *Effets simples principaux significatifs*

Un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation provoquait un allongement des TR avec un effet non linéaire ($\beta = .36, p < .001$).

La hausse de vigilance après chaque situation allongeait les TR avec un effet non linéaire ($\beta = .18, p < .01$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience × Situation avait un effet linéaire sur les TR ($\beta = .23, p < .001$). Pour les novices, les TR étaient plus longs en situation simple ($M = .93, SD = .42$) qu'en situation moyennement complexe ($M = .73, SD = .23$). Aucune différence n'était observée entre la situation très complexe ($M = .82, SD = .38$) et les deux autres. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les TR étaient plus courts en situation simple ($M = .64, SD = .15$) qu'en situation très complexe ($M = .72, SD = .24$). Aucune différence n'était observée entre la situation moyennement complexe ($M = .65, SD = .18$) et les deux autres (voir Figure 114).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 114. Temps de Réaction pour chaque groupe dans chaque situation.

L'interaction Expérience × Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire sur les TR ($\beta = -.72, p < .001$). Pour les novices, la hausse du différentiel du ratio EEG allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .24, p < .01$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .04, n.s$).

L'interaction Situation × Amplitude des pics de réponse électrodermale avait un effet non linéaire sur les TR ($\beta = .18, p < .01$). En situation moyennement complexe, la hausse d'amplitude des pics de réponse électrodermale allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .24, p < .05$) tandis qu'en situations simple et très complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = -.05, n.s$ et $\beta = -.04, n.s$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire sur les TR ($\beta = .11, p < .01$). En situation très complexe, la hausse de charge de travail subjective allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .23, p < .05$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .15, n.s$ et $\beta = .01, n.s$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

➤ *En fonction de la charge de travail subjective*

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse de charge de travail subjective allongeait leurs TR en situation très complexe avec un effet linéaire. Aucun autre effet n'a été observé en fonction du groupe et de la situation (voir Tableau 62).

Tableau 62. Effet de la charge de travail subjective sur les TR pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduit	Simple, B	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	.14	.09	.16
FinPB	.20	-.10	.38 *
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

➤ *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque*

Aucun effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les TR n'était observé en fonction des groupes et des situations (voir Tableau 63).

Tableau 63. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les TR pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduit	Simple, B	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	-.09	-.04	.05
FinPB	.06	-.02	.01
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

Résumé

TEMPS DE REACTION FACE AUX 2 ^e ET 3 ^e PIETONS (TR)	
Facteurs entraînant une hausse TR	Facteurs entraînant une baisse TR
<i>Pour les novices :</i> ↑ Tension subjective après => ↑ Charge de travail subjective	
↑ Ratio EEG avant	
↑ Vigilance subjective après	
<i>Pour les novices :</i> ↑ Différentiel du ratio EEG	
<i>En situation moyennement complexe :</i> ↑ Amplitude des réponses électrodermales	
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Charge de travail subjective	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire, en situation très complexe :</i> ↑ Charge de travail subjective = SURCHARGE	
TR des novices > TR des conducteurs à la fin du permis probatoire	
<i>Pour les novices :</i> TR en situation simple > TR en situation moyennement complexe	
<i>Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire :</i> TR en situation très complexe > TR en situation simple	

Note : ↑ : hausse.

3.3.6 Nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons

L'ensemble des prédicteurs du nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons était testé, avec le test de Sobel afin d'identifier les effets indirects sur le nombre de collisions, puis avec un t de Student pour tester l'effet direct de l'expérience, et enfin avec une analyse de régression polynomiale pour identifier les effets directs de l'ensemble des autres prédicteurs (voir Figure 115).

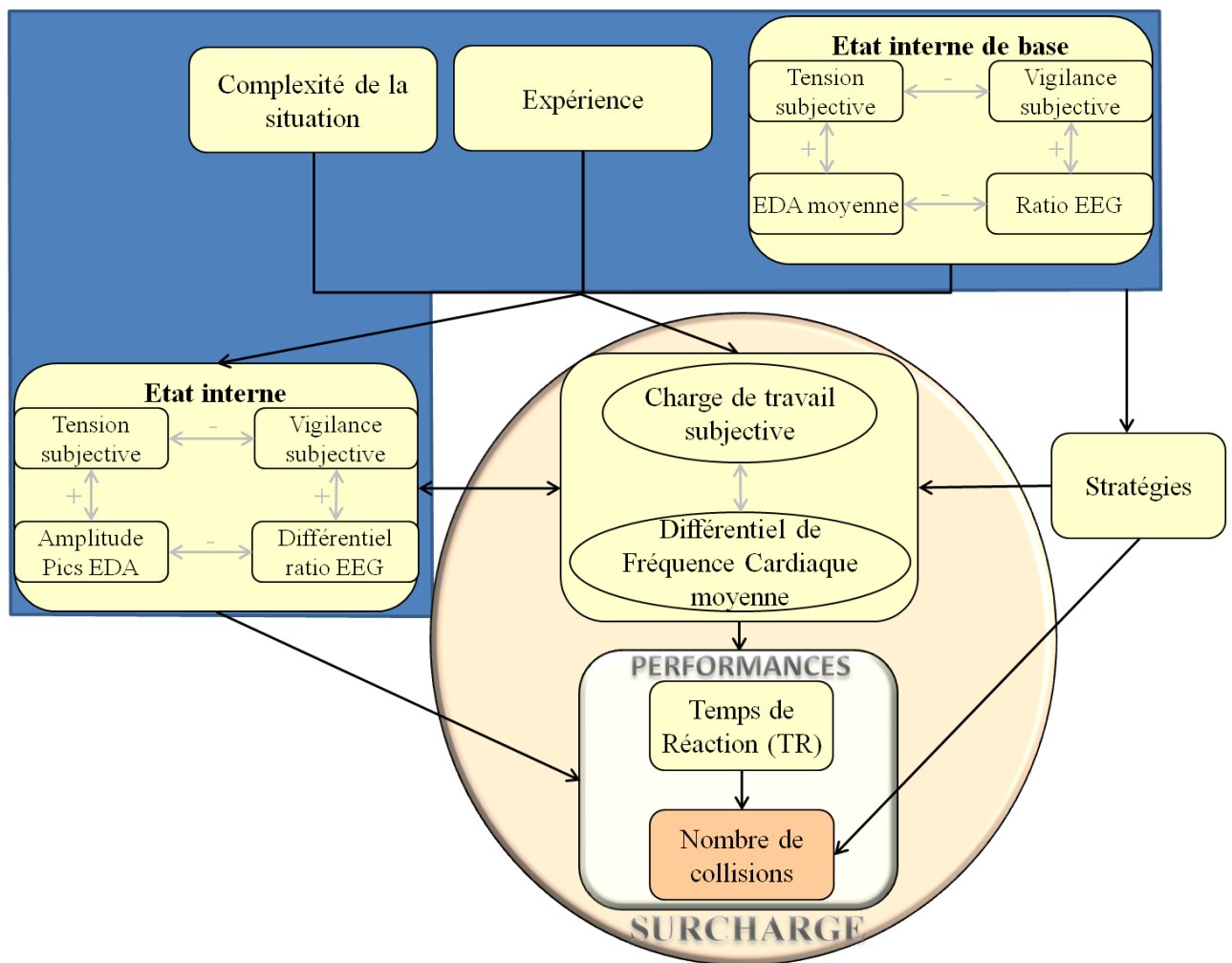


Figure 115. Prédicteurs du nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons (performance).

Test de Sobel : effets indirects

De nombreux effets indirects étaient observés (voir Tableau 64). La tension subjective avant chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = 2.09, p < .05$). Un niveau élevé de tension entraînait un haut niveau de charge ($\beta = .14, p < .05$), qui à son tour provoquait un nombre élevé de collisions ($\beta = .23, p < .001$).

La vigilance subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = -2.14, p < .05$). Un niveau élevé de vigilance entraînait un faible niveau de charge ($\beta = -.15, p < .05$), qui à son tour provoquait un faible nombre de collisions ($\beta = .23, p < .001$).

La tension subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = 3.17, p < .01$). Un niveau élevé de tension entraînait un haut niveau de charge ($\beta = .29, p < .001$), qui à son tour provoquait un nombre élevé de collisions ($\beta = .25, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = -2.15, p < .05$). L'interaction Expérience \times Tension subjective avant influençait la charge ($\beta = -.15, p < .05$). Pour les novices avec un apprentissage traditionnel, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .28, p < .001$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, cela n'avait aucun effet ($\beta = -.01, n.s$). Un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .23, p < .001$).

L'interaction Expérience \times EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = -2.10, p < .05$). L'interaction Expérience \times EEG avant influençait la charge ($\beta = -.25, p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .57, p < .001$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, cela entraînait un faible niveau de charge avec un effet linéaire ($\beta = -.17, p < .05$). Un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .14, p < .05$).

L'interaction Expérience \times Tension subjective après avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = -3.01, p < .01$). L'interaction Expérience \times Tension subjective après influençait la charge ($\beta = -.25, p < .001$). La tension subjective après chaque situation était plus élevée pour les novices avec un apprentissage traditionnel ($M = 7.21, SD = 3.15$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = 6.29, SD = 2.02$).

Aucune différence de charge de travail subjective n'était observée entre ces deux groupes (respectivement : $M = 11.24$, $SD = 2.89$ et $M = 11.49$, $SD = 2.92$). Un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .25$, $p < .001$).

L'interaction Situation \times EDA avant avait un effet sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective ($z = 2.19$, $p < .05$). L'interaction Situation \times EDA avant influençait la charge ($\beta = .17$, $p < .01$). En situation simple, un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge avec un effet linéaire ($\beta = -.20$, $p < .05$), tandis qu'en situation très complexe, cela entraînait un niveau élevé de charge ($\beta = .22$, $p < .05$), et en situation moyennement complexe, aucun effet n'était observé ($\beta = -.03$, *n.s*). Un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .20$, $p < .001$).

L'expérience avait un effet sur le nombre de collisions *via* le différentiel de fréquence cardiaque moyenne ($z = 2.08$, $p < .05$). Un haut niveau d'expérience entraînait un faible niveau du différentiel de fréquence cardiaque moyenne ($\beta = -.35$, $p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel ($M = 4.81$, $SD = 8.52$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = -1.12$, $SD = 7.29$). Un haut niveau du différentiel de fréquence cardiaque moyenne provoquait ensuite un faible nombre de collisions ($\beta = -.13$, $p < .05$).

La tension subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions *via* les stratégies d'évitement de piétons ($z = 2.06$, $p < .05$). Un haut niveau de tension influençait le choix du type de stratégies ($\beta = .16$, $p < .01$). Avec la hausse de tension subjective après chaque situation, les participants effectuaient 0,89 fois moins de freinages que de combinaisons ($OR = .89$, 95% CI $[-.21, -.03]$, $p < .01$). Aucune différence n'était constatée entre les autres comparaisons de stratégies (comparaison freinage – écart : $OR = .96$, 95% CI $[-.32, .24]$, *n.s*, comparaison écart – combinaison : $OR = .92$, 95% CI $[-.36, .19]$, *n.s*). Les stratégies avaient ensuite un effet sur le nombre de collisions ($\beta = .18$, $p < .01$), avec des scores plus élevés pour la stratégie de combinaison ($M = .27$, $SD = .45$) que pour le freinage ($M = 0$, $SD = 0$), et aucune différence entre ces deux stratégies et l'écart ($M = .13$, $SD = .34$).

L'expérience avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = -3.97$, $p < .001$). Un haut niveau d'expérience entraînait un raccourcissement des TR ($\beta = -.26$, $p < .001$), avec des TR plus élevés pour les novices ($M = .83$, $SD = .36$) que pour les conducteurs à la fin du

permis probatoire ($M = .67$, $SD = .20$). Des TR courts provoquaient ensuite un faible nombre de collisions ($\beta = .46$, $p < .001$).

Le ratio EEG et le différentiel de ratio EEG avant chaque situation avaient un effet sur le nombre de collisions *via* les TR (respectivement : $z = 2.61$, $p < .01$ et $z = 2.30$, $p < .05$). Ainsi, un niveau élevé du ratio EEG et du différentiel de ratio avant entraînaient un allongement des TR (respectivement : $\beta = .16$, $p < .01$ et $\beta = .14$, $p < .01$), qui à leur tour provoquait un nombre élevé de collisions (respectivement : $\beta = .47$, $p < .001$ et $\beta = .47$, $p < .001$).

La charge de travail subjective un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = 2.55$, $p < .05$). Un niveau élevé de charge entraînait un allongement des TR ($\beta = .16$, $p < .01$), qui à son tour provoquait un nombre élevé de collisions ($\beta = .46$, $p < .001$).

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = 2.19$, $p < .05$). L'interaction Expérience \times Situation influençait les TR ($\beta = .13$, $p < .05$). Pour les novices, les TR étaient plus longs en situation simple ($M = .93$, $SD = .42$) qu'en situation moyennement complexe ($M = .73$, $SD = .23$). Aucune différence n'était observée entre la situation très complexe ($M = .82$, $SD = .38$) et les deux autres. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les TR étaient plus long en situation simple ($M = .64$, $SD = .15$) qu'en très complexe ($M = .72$, $SD = .24$). Aucune différence n'était observée entre la situation moyennement complexe ($M = .65$, $SD = .18$) et les deux autres. Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .49$, $p < .001$).

L'interaction Expérience \times EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = -3.65$, $p < .001$). L'interaction Expérience \times EEG avant influençait les TR ($\beta = -.24$, $p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé du ratio EEG avant chaque situation provoquait un allongement des TR avec un effet linéaire ($\beta = .34$, $p < .01$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = -.14$, *n.s.*). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .43$, $p < .001$).

L'interaction Expérience \times pics EDA avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = 2.50$, $p < .05$). L'interaction Expérience \times pics EDA influençait les TR ($\beta = .15$, $p < .01$). Pour les novices, la hausse de l'amplitude des pics de réponse électrodermale raccourcissait les TR avec un effet non linéaire ($\beta = -.98$, $p < .001$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet non linéaire n'était observé ($\beta = -.04$, *n.s.*). La diminution des TR provoquait ensuite un nombre plus faible de collisions ($\beta = .47$, $p < .001$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = 3.26, p < .01$). L'interaction Situation \times Vigilance après influençait les TR ($\beta = .20, p < .001$). En situation très complexe, la hausse de vigilance subjective après chaque situation allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .22, p < .05$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = -.18, n.s$ et $\beta = -.02, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .45, p < .001$).

L'interaction EDA avant \times EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = -2.29, p < .05$). L'interaction EDA avant \times EEG avant influençait les TR ($\beta = -.14, p < .05$). Un niveau élevé du ratio EEG provoquait un allongement des TR avec un effet non linéaire ($\beta = .36, p < .001$) tandis qu'un niveau élevé d'activité électrodermale n'avait aucun effet sur les TR ($\beta = .17, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .46, p < .001$).

L'interaction EEG avant \times Charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = 2.87, p < .01$). L'interaction EEG avant \times Charge de travail subjective influençait les TR ($\beta = .18, p < .01$). Un niveau élevé du ratio EEG provoquait un allongement des TR avec un effet non linéaire ($\beta = .36, p < .001$) tandis que la charge de travail subjective n'avait aucun effet dessus ($\beta = .06, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .46, p < .001$).

L'interaction Pics EDA \times Charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions *via* les TR ($z = -2.07, p < .05$). L'interaction Pics EDA \times Charge de travail subjective influençait les TR ($\beta = -.12, p < .05$). La hausse d'amplitude des pics de réponse électrodermale allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .22, p < .001$) tandis que la charge de travail subjective n'avait aucun effet dessus ($\beta = .06, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .50, p < .001$).

Tableau 64. Scores z des effets indirects sur le nombre de collisions *via* la charge de travail subjective, le différentiel de fréquence cardiaque, les stratégies et les Temps de Réaction.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de fréquence cardiaque	Via Stratégies	Via Temps de Réaction
Expérience (Exp)	.70	2.08 *	-1.28	-3.97 **
Situation (Sit)	1.01	-.10	.07	-.24
Vigilance subjective avant (VSav)	.53	.41	-.41	.63
Tension subjective avant (TSav)	2.09 *	-.46	1.57	-.64
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.18	-.80	-.90	.76
Ratio EEG avant (EEGav)	-.94	-1.25	-.39	2.61 *
Vigilance subjective après (VSap)	-2.14 *	.56	-1.10	.41
Tension subjective après (TSap)	3.17 *	-.47	2.06 *	.67
Pics EDA	-.78	-.88	-.14	.24
Différentiel de ratio EEG (EEG)	.45	-.61	.20	2.30 *
Charge de travail subjective (CTS)				2.55 *
Différentiel de fréquence cardiaque (DFC)				1.03
Interaction Exp * Sit	.97	.73	-.65	2.19 *
Interaction Exp * TSav	-2.15 *	.58	.87	1.42
Interaction Exp * VSav	-1.08	-.35	1.88	-.99
Interaction Exp * EDAav	-.36	-.88	-.39	1.31
Interaction Exp * EEGav	-2.10 *	1.12	-1.64	-3.65 **
Interaction Exp * TSap	-3.01 *	.51	.13	.76
Interaction Exp * VSap	-1.58	-.09	1.43	-.42
Interaction Exp * Pics EDA	.53	-.38	.08	2.50 *
Interaction Exp * EEG	-1.73	-.21	-1.31	-.80
Interaction Exp * CTS				-.18
Interaction Exp * DFC				.13
Interaction Sit * TSav	1.40	-.72	-1.00	1.11
Interaction Sit * VSav	.02	-.87	-.69	-.16
Interaction Sit * EDAav	2.19 *	.39	-.74	.10
Interaction Sit * EEGav	-.01	-.90	.91	1.15
Interaction Sit * TSap	.68	-.73	-.49	.77
Interaction Sit * VSap	-.32	-.36	.57	3.26 *
Interaction Sit * Pics EDA	1.98	-.80	.08	.23
Interaction Sit * EEG	.85	.48	.72	-1.46
Interaction Sit * CTS				.79
Interaction Sit * DFC				.66
Interaction TSav * VSav	-1.12	-.59	.52	-1.23
Interaction TSap * VSap	-.23	.71	-1.68	-.72
Interaction EDAav * EEGav	-1.23	-.50	1.42	-2.29 *
Interaction Pics EDA * EEG	.97	.58	.90	-1.75
Interaction TSav * CTS				.76
Interaction VSav * CTS				-.51
Interaction TSav * DFC				.44
Interaction VSav * DFC				-1.26
Interaction EDAav * CTS				-1.74
Interaction EEGav * CTS				2.87 *
Interaction EDAav * DFC				-.52
Interaction EEGav * DFC				-.52
Interaction TSap * CTS				.78
Interaction VSap * CTS				-1.19
Interaction Pics EDA * CTS				-2.07 *
Interaction EEG * CTS				.80
Interaction TSap * DFC				1.90
Interaction VSap * DFC				-.76
Interaction Pics EDA * DFC				-1.66
Interaction EEG * DFC				.84

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Par soucis de concision, le tableau indiquant les autres effets indirects est présenté en Annexe (Tableau 88, Annexe 14, p440) et les deux effets indirects observés sont décrits ci-dessous.

La charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions *via* la tension subjective après chaque situation ($z = -2.17, p < .05$). Un niveau élevé de charge entraînait un haut niveau de tension ($\beta = .28, p < .001$), qui à son tour provoquait un faible nombre de collisions ($\beta = -.14, p < .05$).

L'interaction Expérience \times EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions *via* l'amplitude des pics EDA ($z = 2.27, p < .05$). L'interaction Expérience \times EEG avant influençait l'amplitude des pics EDA ($\beta = .25, p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé du différentiel du ratio EEG entraînait un faible niveau d'amplitude des pics de réponse électrodermale avec un effet non linéaire ($\beta = -.44, p < .05$), tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le différentiel du ratio EEG n'avait pas d'effet non linéaire sur les pics de réponse électrodermale ($\beta = -.44, n.s$). Une amplitude des pics EDA élevée provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .15, p < .05$).

Aucun autre facteur n'avait d'effet indirect sur le nombre de collisions *via* la tension subjective après chaque situation, les pics EDA, la vigilance subjective après chaque situation et le différentiel de ratio EEG (voir Tableau 88, Annexe 14, p 440).

T de Student : effet simple de l'expérience

L'expérience avait un effet sur le nombre de collisions avec les piétons ($t(286) = 3.56, p < .001$), avec des scores plus élevés pour les novices ($M = .26, SD = .44$) que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = .10, SD = .31$).

Analyse de régression polynomiale

Les scores moyens du nombre de collisions étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne) \times 1 (Stratégies d'évitement) \times 1 (Temps de Réaction). Dans ce modèle, les prédicteurs étaient responsables de 55.72% de la variance du nombre de collisions (voir Tableau 59).

➤ *Effets simples principaux significatifs*

La hausse de l'amplitude des pics de réponse électrodermale augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .31, p < .001$).

L'allongement des TR diminuait le nombre de collisions avec un effet non linéaire ($\beta = -103.11, p < .001$).

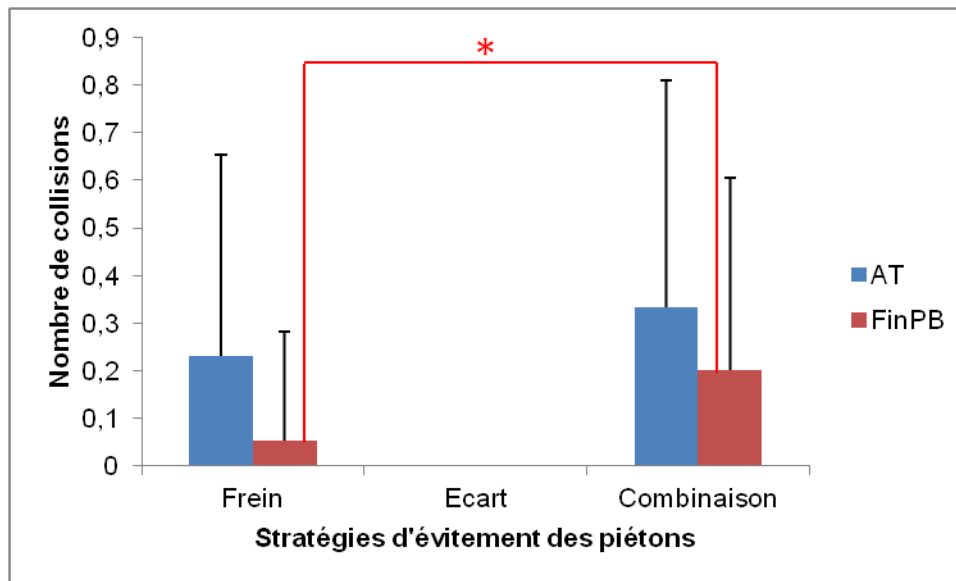
➤ *Effets d'interaction principaux significatifs*

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.26, p < .001$). Pour les novices, une vigilance subjective élevée avant chaque situation provoquait un niveau élevé du nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .25, p < .01$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .01, n.s$).

L'interaction Expérience \times Activité électrodermale avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .27, p < .001$). Pour les novices, aucun effet n'était observé ($\beta = -.08, n.s$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, une activité électrodermale élevée avant chaque situation entraînait un niveau élevé du nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .23, p < .01$).

L'interaction Expérience \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.55, p < .01$). Pour les novices, la hausse du différentiel du ratio EEG augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .20, p < .05$) tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aucun effet n'était observé ($\beta = .07, n.s$).

L'interaction Expérience \times Stratégies avait un effet linéaire significatif ($\beta = .13, p < .01$). Pour les novices, le nombre de collisions ne variait pas selon que la stratégie utilisée soit le freinage ($M = .23, SD = .42$), l'écart ($M = 0, SD = 0$) ou la combinaison des deux ($M = .33, SD = .47$). Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le nombre de collisions était plus faible en situation de freinage ($M = .05, SD = .23$) que lors d'une combinaison ($M = .20, SD = .40$). Aucune différence n'était observée entre l'écart ($M = 0, SD = 0$) et les deux autres stratégies (voir Figure 116).



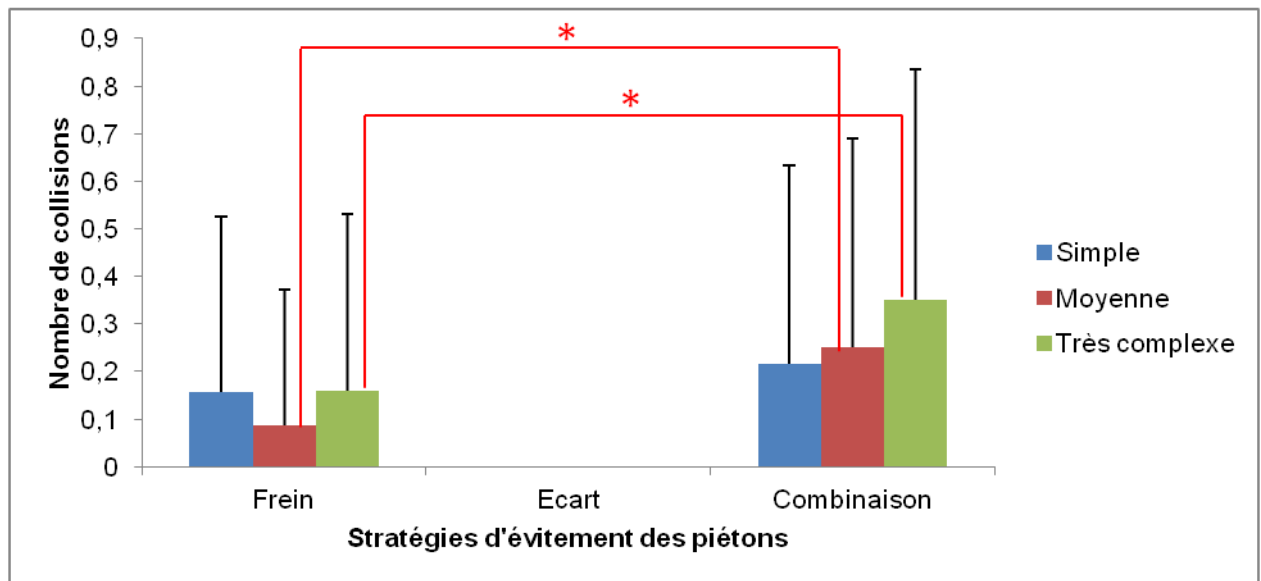
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 116. Nombre de collisions pour chaque groupe en fonction de chaque stratégie.

L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .15$, $p < .01$). En situation très complexe, une vigilance subjective élevée entraînait un niveau élevé du nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .22$, $p < .05$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .03$, *n.s* et $\beta = -.16$, *n.s*).

L'interaction Situation \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire significatif ($\beta = .89$, $p < .001$). En situation très complexe, la hausse du différentiel du ratio EEG augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .25$, $p < .05$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .19$, *n.s* et $\beta = .06$, *n.s*).

L'interaction Situation \times Stratégies avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .11$, $p < .05$). En situations moyennement complexe et très complexe, le nombre de collisions était plus faible lorsque les conducteurs effectuaient un freinage (respectivement : $M = .09$, $SD = .28$ et $M = .16$, $SD = .37$) plutôt qu'une combinaison écart-freinage (respectivement : $M = .25$, $SD = .44$ et $M = .35$, $SD = .48$). Aucune différence n'était observée entre l'écart (respectivement : $M = 0$, $SD = 0$ et $M = 0$, $SD = 0$) et les deux autres stratégies. En situation simple, aucune différence n'était observée entre le freinage ($M = .16$, $SD = .37$), l'écart ($M = 0$, $SD = 0$) et la combinaison ($M = .22$, $SD = .42$) (voir Figure 117).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 117. Nombre de collisions pour chaque groupe en fonction de chaque stratégie.

L'interaction Stratégies \times Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = -.18, p < .001$) et non linéaire ($\beta = .22, p < .001$) significatifs. Avec la stratégie de combinaison, un ratio EEG élevé avant chaque situation entraînait un niveau élevé du nombre de collisions avec un effet non linéaire ($\beta = 1.10, p < .01$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucun effet n'était observé (respectivement : $\beta = .15, n.s$ et $\beta = -.45, n.s$).

L'interaction Stratégies \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire significatif ($\beta = .34, p < .01$). Avec la stratégie de combinaison écart-freinage, la hausse du différentiel du ratio EEG augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .21, p < .05$) tandis qu'en situations simple et moyennement complexe, aucune effet n'était observé (respectivement : $\beta = .05, n.s$ et $\beta = .19, n.s$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

➤ *En fonction de la charge de travail subjective*

Pour les novices, la hausse de la charge de travail subjective augmentait le nombre de collisions en situation moyennement complexe ($\beta = .48$, $p < .001$). Aucun autre effet n'était observé en fonction du groupe et de la situation (voir Tableaux 65).

Tableau 65. Effet de la charge de travail subjective sur le nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduit	Simple, B	Moyenne, β	Très complexe, B
AT	.14	.48 **	.13
FinPB	.06	.16	.22
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

➤ *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque*

Aucun effet du différentiel de fréquence cardiaque sur le nombre de collisions n'était observé en fonction du groupe et de la situation (voir Tableaux 66).

Tableau 66. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur le nombre de collisions pour chaque groupe dans chaque situation.

Expérience de conduit	Simple, B	Moyenne, B	Très complexe, B
AT	-.25	-.16	-.11
FinPB	.15	-.24	.02
Note : * $p < .05$; ** $p < .001$			

Résumé

NOMBRE DE COLLISIONS AVEC LES 2 ^e ET 3 ^e PIETONS (Col)	
Facteurs entraînant une hausse de Col	Facteurs entraînant une baisse de Col
↓ Vigilance subjective après => ↑ Charge de travail subjective	↑ Charge de travail subjective => ↑ Tension subjective après
↑ Tension subjective après => ↑ Charge de travail subjective	↑ Temps de Réaction (non linéaire)
<i>Pour les novices :</i> ↑ Tension subjective avant ET ↑ Ratio EEG avant => ↑ Charge de travail subjective	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↓ Ratio EEG avant => ↑ Charge de travail subjective	
<i>En situation simple :</i> ↓ Activité électrodermale avant => ↑ Charge de travail subjective	
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Activité électrodermale avant => ↑ Charge de travail subjective	
↑ Différentiel du ratio EEG ET ↑ Charge de travail subjective => Allongements Temps de Réaction	
<i>Pour les novices :</i> ↑ Ratio EEG avant ET ↓ Amplitude réponses électrodermales => Allongement Temps de Réaction	
<i>En situation très complexe :</i> ↑ Vigilance subjective après => Allongement Temps de Réaction	
<i>Pour les novices :</i> ↓ Ratio EEG avant => ↑ Amplitude réponses électrodermales	
↑ Amplitude réponses électrodermales	
<i>Pour les novices :</i> - ↑ Vigilance subjective avant - ↑ Différentiel du ratio EEG	
<i>Pour les novices, en situation moyenne :</i> ↑ Charge de travail subjective	

= SURCHARGE	
<i>Pour ceux à la fin du permis probatoire :</i> ↑ Activité électrodermale avant	
<i>En situation très complexe :</i> - ↑ Vigilance subjective avant - ↑ Différentiel du ratio EEG	
<i>Avec la stratégie « Combinaison » :</i> - ↑ Ratio EEG avant - ↑ Différentiel du ratio EEG	
Hausse de Tension subjective après => Collisions avec « Combinaison » > Collisions avec « Frein »	
Collisions des novices > Collisions des conducteurs à la fin du permis probatoire	
<i>Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire :</i> Collisions avec « Combinaison » > Collisions avec « Frein »	
<i>En situations moyennement complexe et très complexe :</i> Collisions avec « Combinaison » > Collisions avec « Frein »	

Note : ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

3.4. Etat interne d'activation : corrélation entre tension et vigilance

Pour chaque groupe, des corrélations de Bravais-Pearson ont été réalisées entre les niveaux subjectifs, puis entre les niveaux physiologiques de tension et de vigilance avant et après chaque situation.

- **Données subjectives**

Avant chaque situation

Que ce soit pour les novices ou pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la tension subjective et la vigilance subjective avant chaque situation n'étaient pas corrélées (respectivement : $r = .06, n.s$ et $r = -.08, n.s$).

Après chaque situation

De la même manière que précédemment, la tension subjective et la vigilance subjective après chaque situation n'étaient pas corrélées quelque soit l'expérience des conducteurs (novices : $r = -.07, n.s$ et fin de permis probatoire : $r = -.02, n.s$).

- **Données physiologiques**

Avant chaque situation

Pour les novices, avant chaque situation, l'activité électrodermale moyenne était négativement corrélée avec le ratio EEG ($r = -.36, p < .001$), elle augmentait quand le ratio EEG diminuait. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, l'activité électrodermale moyenne et le ratio EEG n'étaient pas corrélés ($r = .03, n.s$).

Après chaque situation

➤ *Portions sans piétons*

Aucune corrélation significative n'était observée entre le différentiel d'activité électrodermale et le différentiel du ratio EEG que ce soit pour les novices ou pour les conducteurs à la fin du permis probatoire (respectivement : $r = -.09, n.s$ et $r = .14, n.s$).

➤ *Portions avec piétons*

L'amplitude des pics de réponse électrodermale et le différentiel du ratio EEG n'étaient pas corrélés, ni pour les novices, ni pour les conducteurs en fin de permis probatoire (respectivement : $r = .15, n.s$ et $r = .19, n.s$).

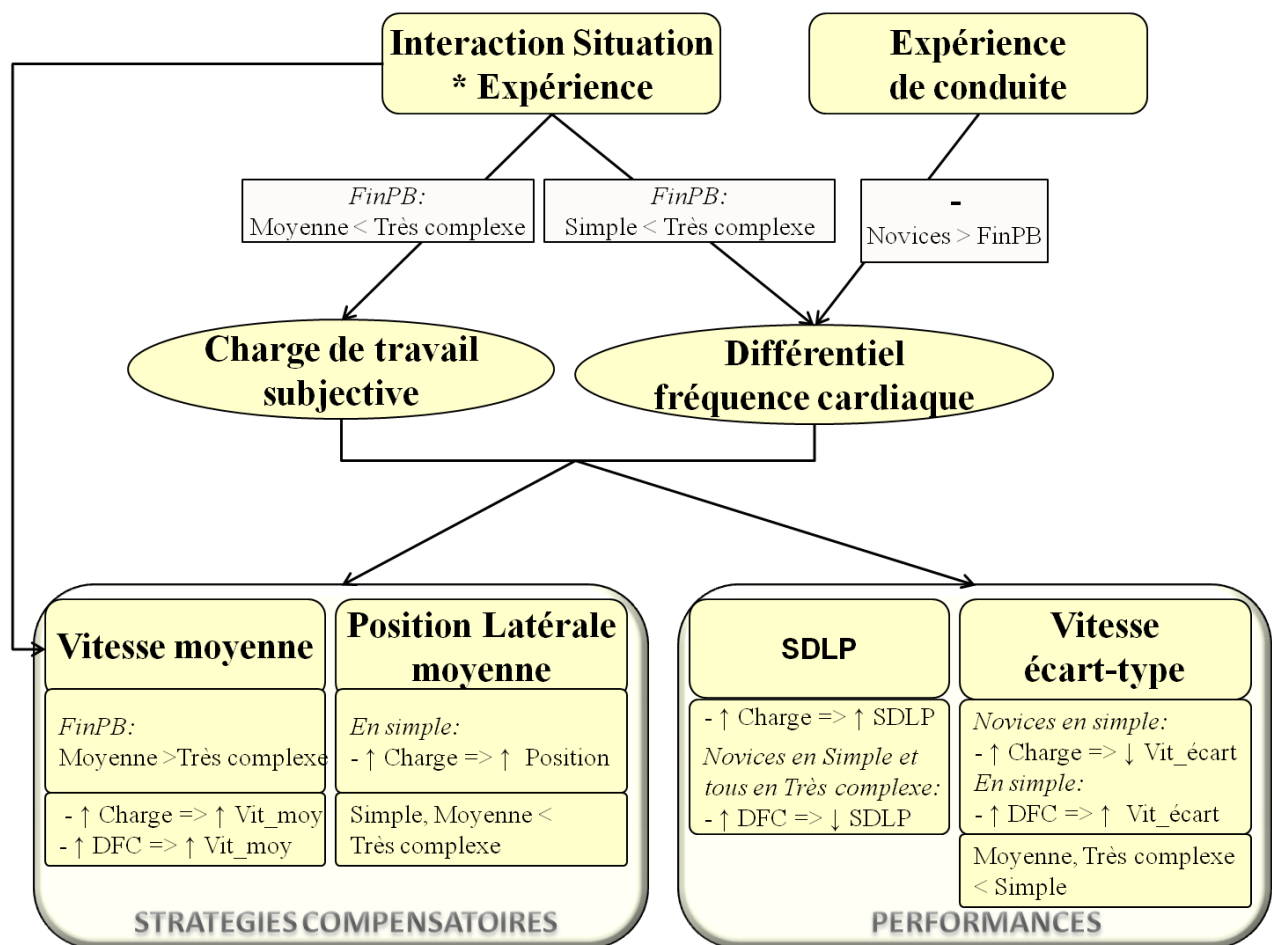
4. Discussion

4.1. Portions sans piétons

Durant les portions sans piétons, l'hypothèse était qu'en situations simple et très complexe, la hausse de charge de travail subjective et du différentiel de fréquence cardiaque devait entraîner une dégradation des performances, en particulier pour les conducteurs novices. L'objectif était ainsi d'identifier le niveau d'expérience à partir duquel une surcharge de travail apparaissait. De plus, l'état interne des participants (niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de vigilance) devait moduler ces effets.

4.1.1 Surcharge en fonction de la situation et de l'expérience

L'ensemble des résultats concernant, d'une part les effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque, et d'autre part les effets de la situation, de l'expérience, de la charge de travail subjective et du différentiel de fréquence cardiaque sur les performances de conduite et sur les stratégies compensatoires ont permis d'identifier les facteurs de surcharge en fonction des stratégies compensatoires efficaces (voir Figure 118).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

Figure 118. Surcharge de travail et stratégies compensatoires en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les niveaux subjectif et physiologique de charge les plus élevés étaient observés en situation très complexe (charge de travail subjective et différentiel de fréquence cardiaque). Pour les novices AT, aucune différence n'était observée entre les situations, probablement car la tâche de conduite leur apparaissait difficile quelle que soit la situation. En effet, nous pouvons noter que le niveau de différentiel de fréquence cardiaque pour ce groupe était plus élevé que celui des conducteurs à la fin du permis probatoire (voir Figure 118).

Pour l'ensemble des participants, l'écart-type de vitesse était le plus élevé en situation simple. Il s'agissait donc de la situation durant laquelle la hausse du niveau physiologique de charge de travail (différentiel de fréquence cardiaque) dégradait les performances, révélant ainsi probablement une surcharge de travail. En effet, dans cette situation monotone, l'organisme était probablement faiblement activé. Dès que la fréquence cardiaque augmentait pour fournir un effort au niveau physiologique afin de lutter contre un possible

endormissement, il devenait difficile pour les conducteurs de garder le contrôle de la vitesse. En situation simple, la hausse du niveau subjectif de charge de travail des novices AT améliorait cependant les performances avec une diminution de l'écart-type de la vitesse (voir Figure 118). Pour ce groupe, percevoir l'effort réalisé pour maintenir un certain niveau de vigilance les rassurait probablement suffisamment pour réguler leur vitesse. La conscience de leur niveau physiologique de charge leur permettait donc de contrôler leur vitesse.

Comme attendu, d'une manière générale, la hausse de charge de travail subjective dégradait les performances de conduite avec une perte du contrôle latérale du véhicule sur la voie (hausse des SDLP). A l'inverse, la hausse du niveau physiologique de charge améliorait le contrôle latéral du véhicule sur la voie pour les novices en situation simple et pour les deux groupes en situation très complexe (voir Figure 118). Pour les novices, un niveau physiologique élevé de charge leur permettait probablement de fournir un effort suffisant afin de maintenir un certain niveau de vigilance en situation simple et monotone, améliorant ainsi le contrôle latérale du véhicule. Pour les conducteurs expérimentés, ce n'était probablement pas le cas dans cette situation dans la mesure où ils avaient un niveau physiologique de charge globalement plus faible que celui des novices. En situation très complexe, le niveau physiologique de charge des conducteurs à la fin du permis probatoire était plus élevé qu'en situation simple, ce qui leur permettait donc d'améliorer le contrôle latéral du véhicule avec un effort fourni efficace. Pour les novices ayant un niveau physiologique élevé de charge quelle que soit la situation, cet état était donc également favorable et améliorait le contrôle latéral du véhicule en situation très complexe. En situation moyennement complexe, les conducteurs avaient probablement un niveau physiologique trop faible pour maintenir le contrôle latéral du véhicule, et les novices qui avaient un niveau physiologique de charge élevé ne ciblaient probablement pas leur effort sur cette tâche dans la mesure où cette situation n'était pas trop exigeante pour maintenir de bonnes performances.

Nous pouvons donc nous demander si des stratégies compensatoires étaient adoptées en fonction des niveaux subjectif et physiologique de charge de travail, de la situation et du groupe, et si ces stratégies étaient efficaces pour maintenir de bonnes performances.

4.1.2 Stratégies compensatoires : vitesse moyenne et position latérale moyenne

Les conducteurs à la fin du permis probatoire réduisaient leur vitesse moyenne lorsque la situation devenait très complexe, probablement pour optimiser leurs performances de conduite face à la difficulté de la tâche. En effet, cette stratégie s'avérait efficace dans différentes études (Brookhuis et al., 1991 ; Cnossen et al., 2000 ; De Waard et al., 1999). Contrairement à eux, les novices n'adoptaient pas cette stratégie compensatoire, certainement car ils surestimaient leurs capacités et sous-estimaient la difficulté de la tâche (biais d'optimisme ; McKenna, 1993). Par ailleurs, quel que soit le groupe et la situation, la hausse des niveaux subjectif et physiologique de charge de travail entraînait une augmentation de la vitesse moyenne. Malgré la conscience d'avoir un niveau de charge élevé, les conducteurs ne réduisaient pas leur vitesse et même l'augmentait. Ceci peut s'expliquer par un niveau de vigilance élevé, les rendant sur-confiants lors de la conduite.

L'ensemble des conducteurs positionnaient davantage le véhicule vers le milieu de voie en situation très complexe. La présence de nombreux virages a pu les empêcher de rester proches du marquage central, au risque de le franchir. Cependant, en situation simple, la hausse de la charge de travail subjective entraînait également un positionnement vers le milieu de voie. Durant cette situation monotone, les conducteurs avaient un faible niveau de vigilance pouvant entraîner un franchissement du marquage central avec d'éventuels micro-sommeils. Un niveau élevé de charge perçue traduisait donc probablement un effort conscient de la part de ces conducteurs afin d'adopter la stratégie consistant à s'éloigner du marquage central afin de ne pas risquer de le franchir.

Des effets modulateurs de l'état d'activation interne pourraient expliquer les niveaux subjectif et physiologique de charge de travail ainsi que les performances de conduite en fonction de la situation et de l'expérience.

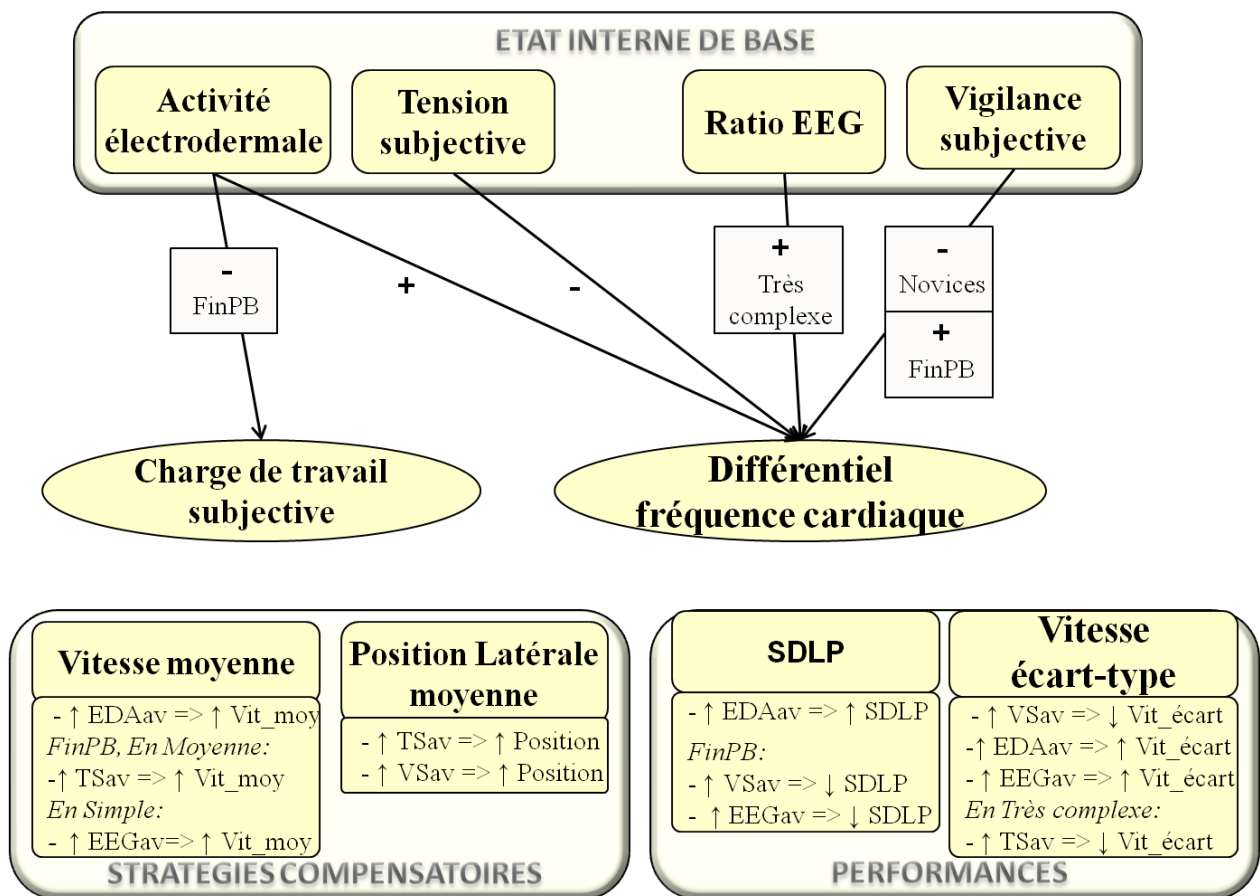
4.1.3 Niveau d'activation interne : effets modulateurs sur la surcharge ?

Les résultats des effets du niveau d'activation interne avant et après chaque situation sur la charge de travail subjective, le différentiel de fréquence cardiaque, les performances de conduite et les stratégies compensatoires, ainsi que les effets de la situation et de l'expérience

sur le niveau d'activation interne ont permis d'identifier si ce dernier modulait la surcharge de travail.

Etat interne avant chaque situation

Le niveau d'activation interne avant chaque situation influençait les niveaux subjectif et physiologique de charge de travail, ainsi que les performances de conduite et les stratégies compensatoires mises en œuvre (voir Figure 119).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

Figure 119. Effets de l'état interne avant chaque situation sur la charge de travail subjective, le différentiel de fréquence cardiaque et les performances.

Quelque soit le groupe de participants, les niveaux subjectifs de tension et de vigilance avant chaque situation n'étaient pas corrélés. Par ailleurs, pour les novices, avant chaque situation, l'activité électrodermale moyenne était négativement corrélée avec le ratio EEG tandis qu'aucune corrélation n'était observée pour les conducteurs à la fin du permis probatoire (voir Figure 119). Les novices avaient donc un niveau d'activation physiologique interne élevé,

avec une dépense énergétique physiologique importante avant même de débiter l'activité de conduite.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation provoquait un faible niveau de charge de travail subjective (voir Figure 119). Ainsi, une tension physiologique accrue leur permettait d'abaisser le niveau de charge ressentie, probablement car le fait d'être tendu les préparait à réagir rapidement dans les différentes situations, ce qui les amenait donc à ressentir un moindre effort pour réaliser la tâche de conduite par la suite.

Cependant, pour l'ensemble des conducteurs, avant chaque situation, un niveau physiologique de tension élevé et un faible niveau subjectif de tension provoquaient un niveau physiologique de charge de travail élevé. Lorsqu'ils n'étaient pas conscients de leur état de tension physiologique avant de débiter l'activité de conduite, ils ne se sentaient probablement pas suffisamment prêts à réaliser la tâche de conduite, produisant ainsi un effort physiologique important pour réaliser cette tâche.

Un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait une dégradation des performances avec une perte du contrôle de la vitesse et du contrôle latérale du véhicule. Leur niveau physiologique de tension était donc probablement trop élevé pour pouvoir maintenir de bonnes performances, conformément au modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson (1908). A l'inverse, contrairement à nos attentes, en situation très complexe, un niveau élevé de tension subjective améliorait les performances avec un faible écart-type de vitesse. Ce niveau subjectif de tension devait donc probablement être suffisamment élevé mais pas trop pour optimiser leurs performances (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908).

Un niveau élevé d'activité électrodermale avant chaque situation entraînait un niveau élevé de la vitesse moyenne. Ainsi, le niveau physiologique élevé de tension avait probablement un effet excitant sur les conducteurs qui accéléraient leur allure. De même, pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, un niveau élevé de tension subjective avant la situation moyennement complexe entraînait une vitesse moyenne élevée. Cette situation avait probablement un niveau de complexité suffisant pour permettre aux conducteurs de la percevoir comme étant facile et stimulante, d'autant plus s'ils étaient dans un état de tension élevée avant même de conduire. Par ailleurs, un niveau élevé de tension subjective avant

chaque situation entraînait un positionnement du véhicule vers le milieu de la voie. Le fait de se sentir tendu avant la conduite les faisait probablement adopter le comportement rassurant de conduire proche du marquage central, les aidant ainsi dans leur trajectoire.

Pour l'ensemble des conducteurs, un niveau élevé de ratio EEG avant la situation très complexe entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque. Ainsi, un niveau physiologique de vigilance élevé les rendait probablement davantage conscient de la difficulté de la tâche en situation très complexe, ce qui favorisait un niveau physiologique de charge élevé. De plus, avant chaque situation, un faible niveau de vigilance subjective pour les novices et un niveau élevé de vigilance subjective pour les conducteurs à la fin du permis probatoire entraînait un niveau élevé du différentiel de fréquence cardiaque. Pour les novices, ne pas se sentir vigilant avant de débiter la conduite ne leur facilitait pas la tâche de conduite, les obligeant probablement à fournir un effort supplémentaire au niveau physiologique. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le fait de se sentir vigilant avant de débiter la conduite les rendait probablement davantage conscient des éventuels dangers de la route, ce qui les amenait à fournir un effort physiologique important également pour rester concentrer sur la tâche de conduite.

Avant chaque situation, un faible niveau de vigilance subjective et un niveau élevé du ratio EEG entraînait une perte du contrôle de la vitesse. Il était donc nécessaire d'avoir conscience d'être suffisamment vigilant afin de contrôler la vitesse.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, des niveaux subjectif et physiologique de vigilance élevés entraînaient une amélioration du contrôle latéral du véhicule. Le fait d'avoir conscience d'être vigilant leur permettait donc probablement de maintenir de bonnes performances.

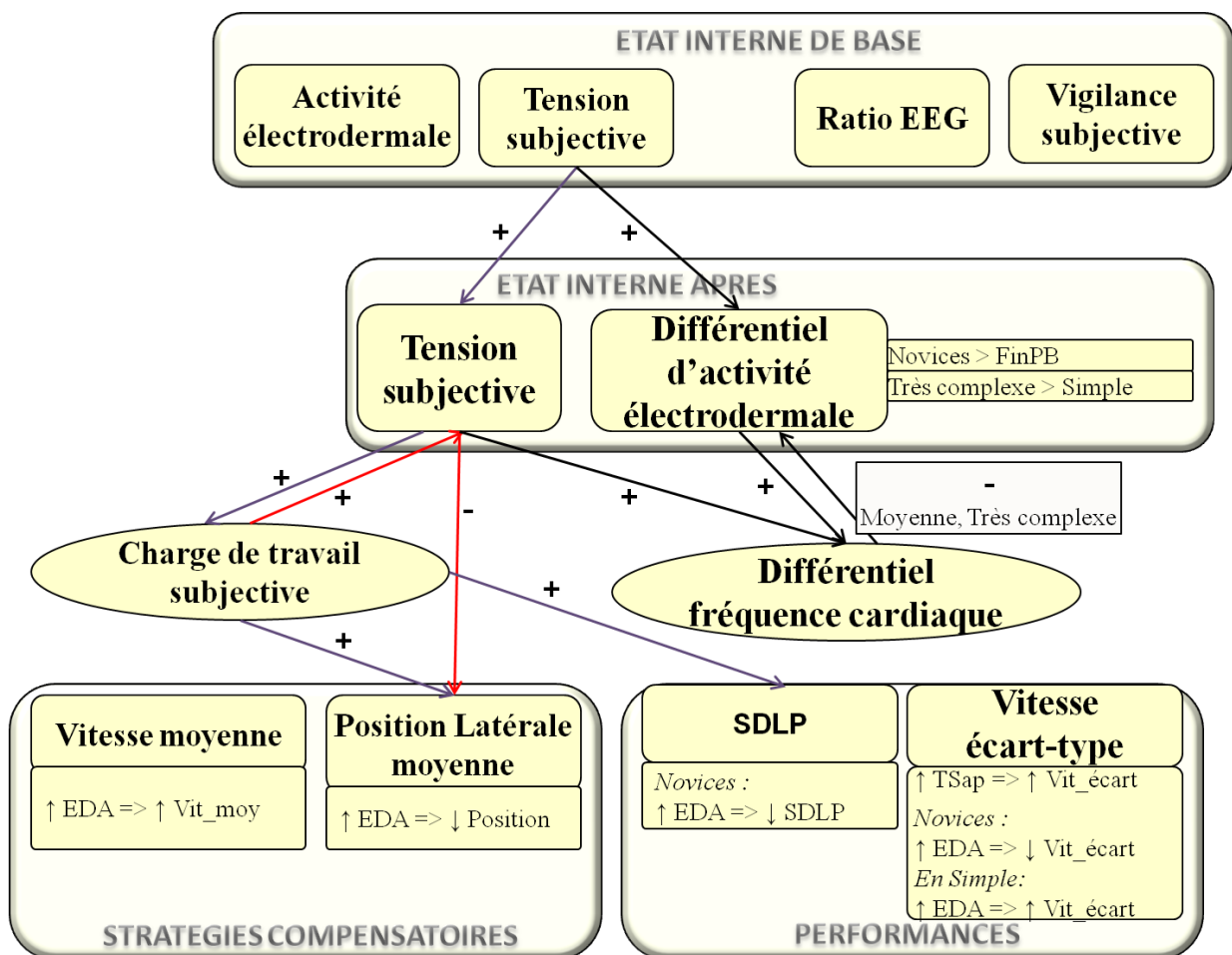
Pour l'ensemble des conducteurs, un niveau élevé du ratio EEG avant la situation simple entraînait un niveau élevé de vitesse moyenne. Un niveau physiologique de vigilance élevé permettait donc aux conducteurs de rouler plus rapidement durant la situation monotone.

De plus, un niveau élevé de vigilance subjective avant chaque situation favorisait un positionnement du véhicule vers le milieu de la voie, probablement afin d'éviter de ne franchir le marquage central.

Etat interne après chaque situation

Aucune corrélation n'était observée entre les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation, ni entre les niveaux physiologiques de tension et de vigilance, et ce quel que soit le niveau d'expérience.

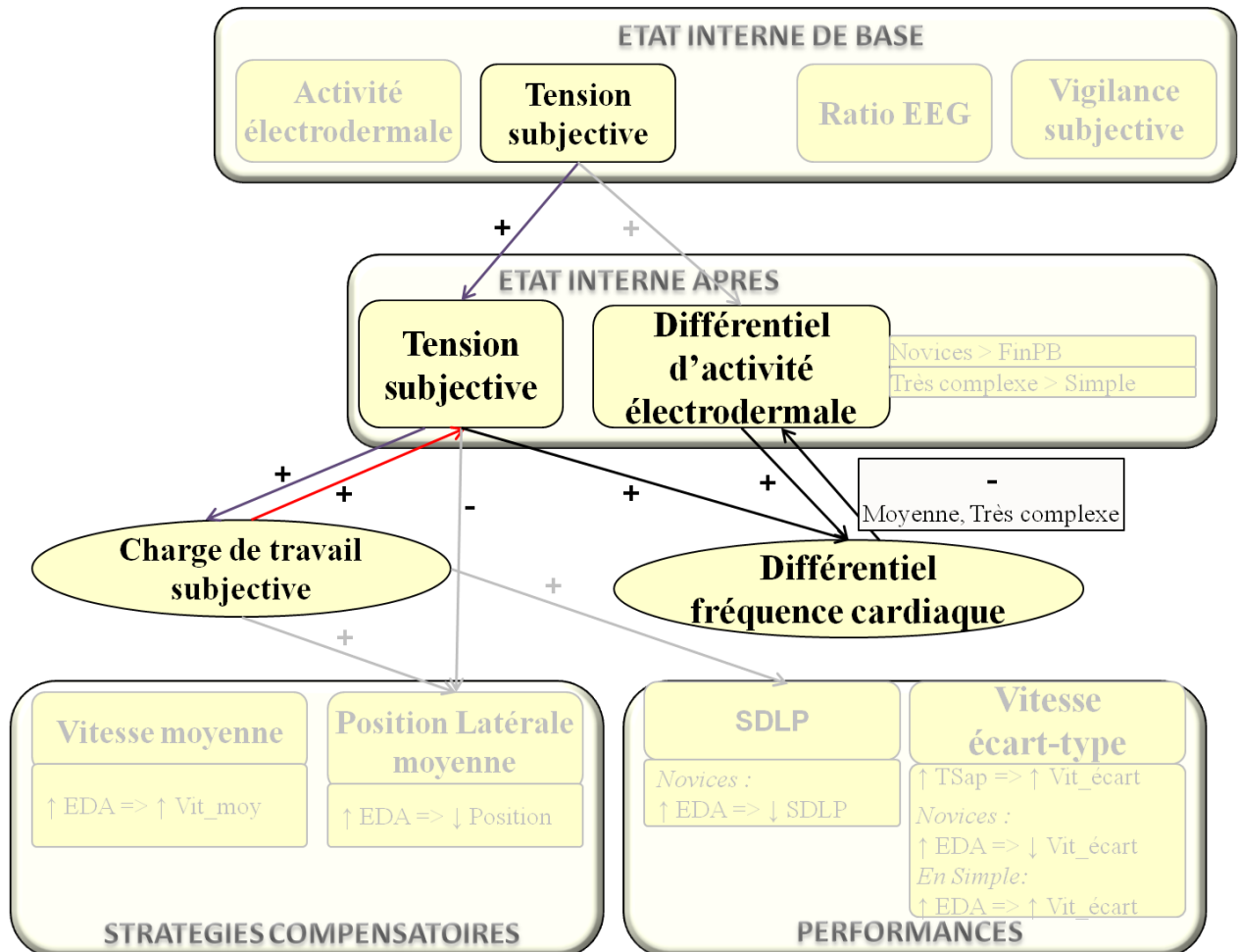
Les niveaux subjectif et physiologique de tension avaient respectivement une relation bidirectionnelle avec les niveaux subjectif et physiologique de la charge de travail, et était également influencée par la situation, l'expérience ainsi que la tension subjective avant chaque situation. Par ailleurs, la tension avait une influence sur les performances de conduite et les stratégies compensatoires mises en œuvre (voir Figure 120).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 120. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la tension (niveaux subjectif et physiologique).

Tout d'abord, nous pouvons nous centrer sur les relations entre les niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de charge de travail (voir Figure 121).



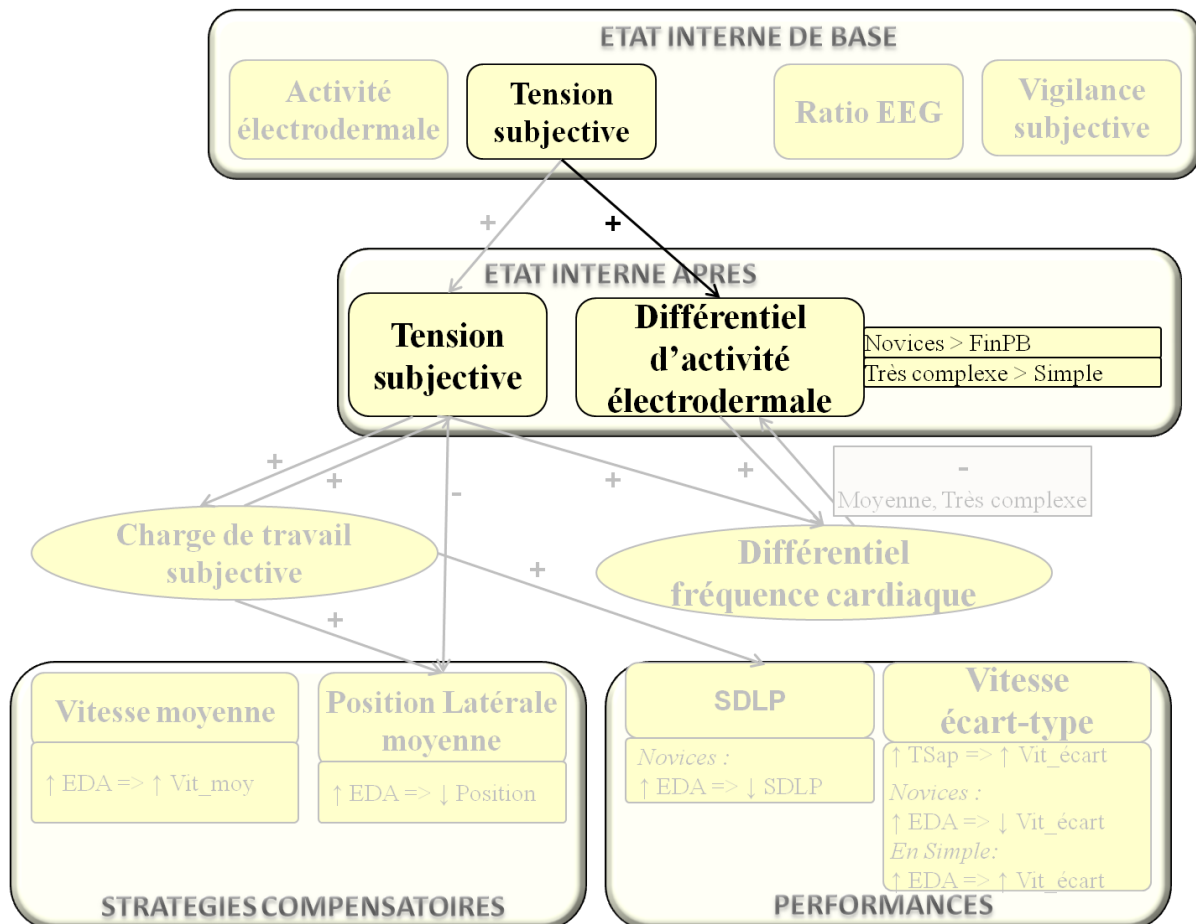
Notes : $+$: effet positif ; $-$: effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 121. Relations entre niveaux subjectifs et physiologiques de tension et de charge de travail.

Conformément à nos attentes, un niveau élevé de tension subjective après chaque situation, dû à un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation, était responsable d'une charge de travail subjective élevée. Réciproquement, un niveau élevé de charge de travail subjective entraînait une augmentation du niveau de tension subjective après chaque situation. Par ailleurs, des niveaux élevés subjectif et physiologique de tension durant la situation de conduite provoquaient une augmentation de la charge de travail physiologique. Cependant, lorsque la situation de conduite se complexifiait, un niveau élevé de charge de travail physiologique entraînait un faible niveau physiologique de tension. Durant ces situations

complexes, l'effort physiologique fourni permettait probablement d'abaisser le niveau physiologique de tension.

La tension subjective avant chaque situation influençait le différentiel d'activité électrodermale (voir Figure 122).



Notes : + : effet positif.

Figure 122. Effets sur la tension subjective après chaque situation et le différentiel d'activité électrodermale.

Ainsi, de manière attendue, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation était lié à un niveau physiologique de tension élevé (voir Figure 122).

A son tour, la tension subjective après chaque situation influençait les performances de conduite ainsi que les stratégies compensatoires (voir Figure 123).

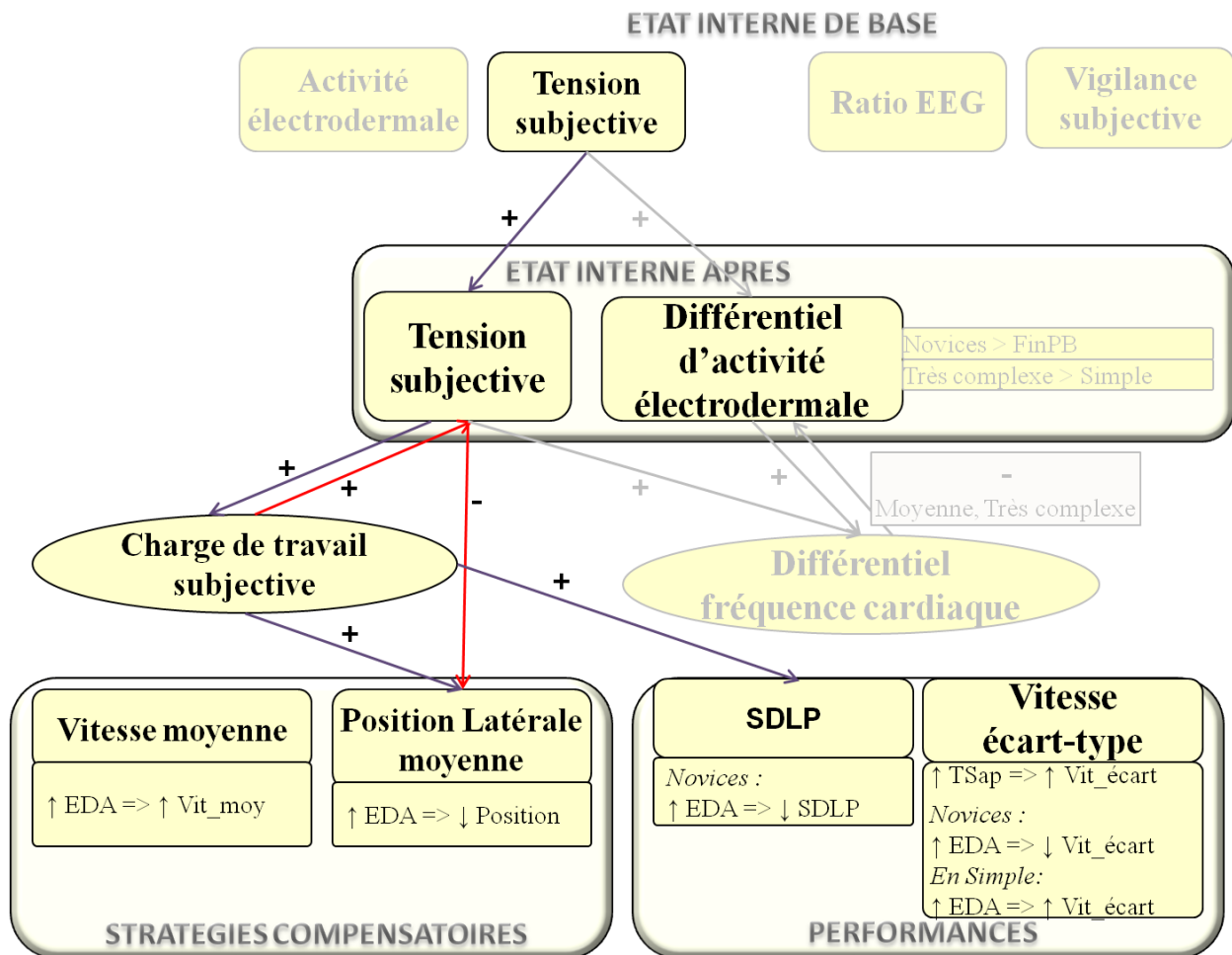


Figure 123. Effets de la tension subjective après chaque situation et du différentiel d'activité électrodermale.

Ainsi, une charge de travail élevée, due à un niveau de tension élevé, provoquait une perte du contrôle latéral du véhicule et un positionnement du véhicule vers le milieu de la voie. La stratégie compensatoire consistant à se positionner vers le milieu de voie n'était donc pas efficace pour maintenir un contrôle de la position latérale du véhicule.

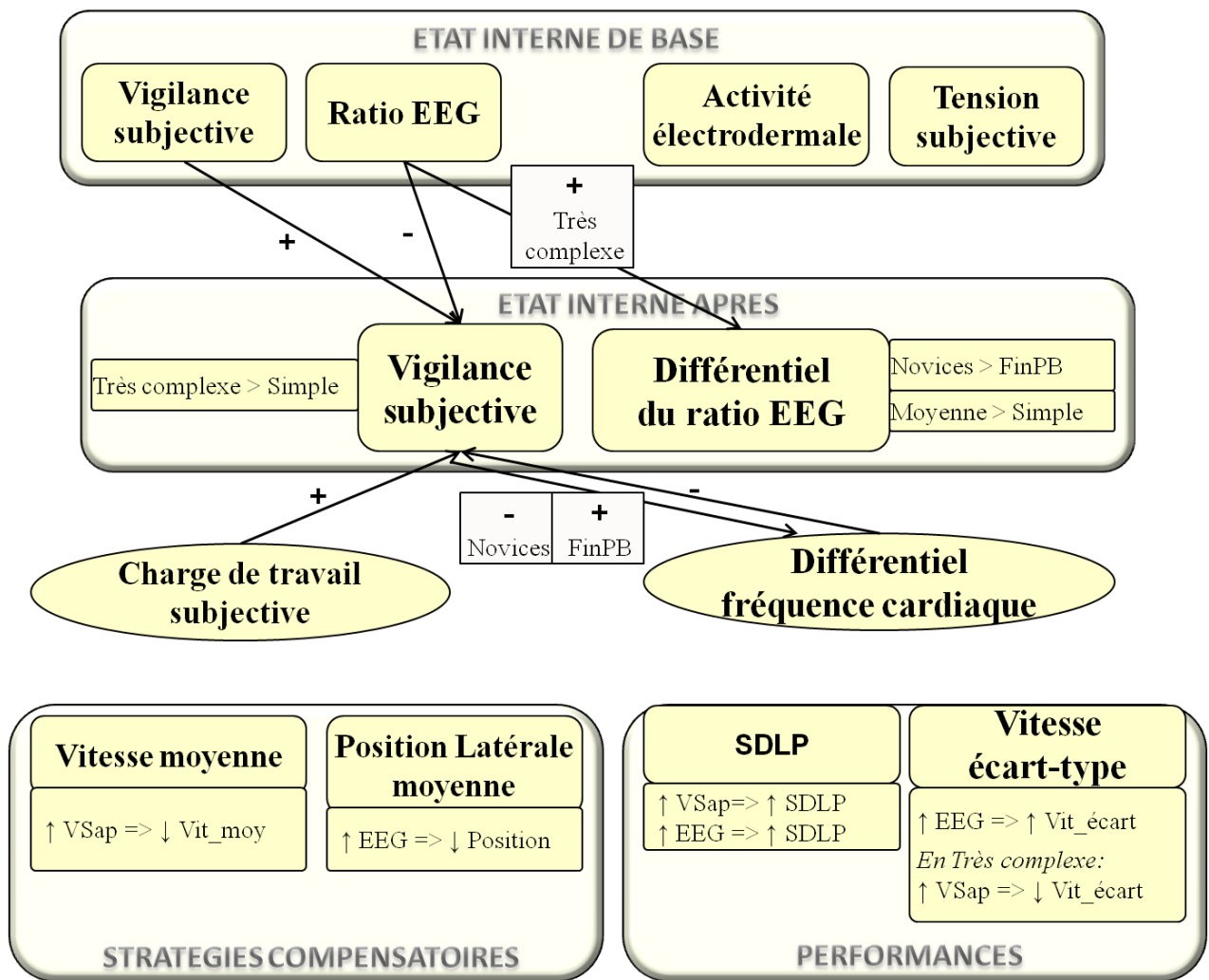
Par ailleurs, la hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective qui à son tour favorisait un positionnement vers le marquage central. Ainsi, le fait de se positionner vers le marquage central aidait probablement les conducteurs à suivre la trajectoire de la route malgré un niveau élevé de tension subjective. En effet, le marquage central peut être utile au guidage de la trajectoire (Horberry et al. , 2006 ; Steyvers & De Waard, 2000). Cependant, la hausse de tension subjective après chaque situation dégradait les

performances de conduite avec une perte du contrôle de la vitesse, probablement car ils ne ralentissaient pas lorsqu'ils se sentaient tendus.

Pour les conducteurs novices, la hausse du niveau physiologique de tension améliorait les performances en réduisant les SDLP ainsi que l'écart-type de vitesse. Ainsi, ce niveau de tension devait être suffisamment élevé pour optimiser les performances (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908). En situation simple, pour l'ensemble des conducteurs, la hausse du niveau physiologique de tension dégradait les performances de conduite avec une perte du contrôle de la vitesse. Ainsi, le niveau de tension était probablement trop élevé pour maintenir de bonnes performances (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908), la monotonie de la situation favorisant une tension importante compensant la baisse de vigilance.

De plus, la hausse du niveau physiologique de tension augmentait la vitesse moyenne et favorisait un positionnement du véhicule vers le marquage central. Ainsi, de la même manière que le niveau physiologique de tension élevé avant chaque situation entraînait un niveau élevé de la vitesse moyenne. Durant chaque situation, un niveau élevé de tension avait probablement un effet excitant sur les conducteurs qui accéléraient leur allure. Pour autant, ils se rapprochaient probablement du marquage central d'être guidés dans leur trajectoire, étant donné qu'il est plus difficile de suivre la route en roulant rapidement.

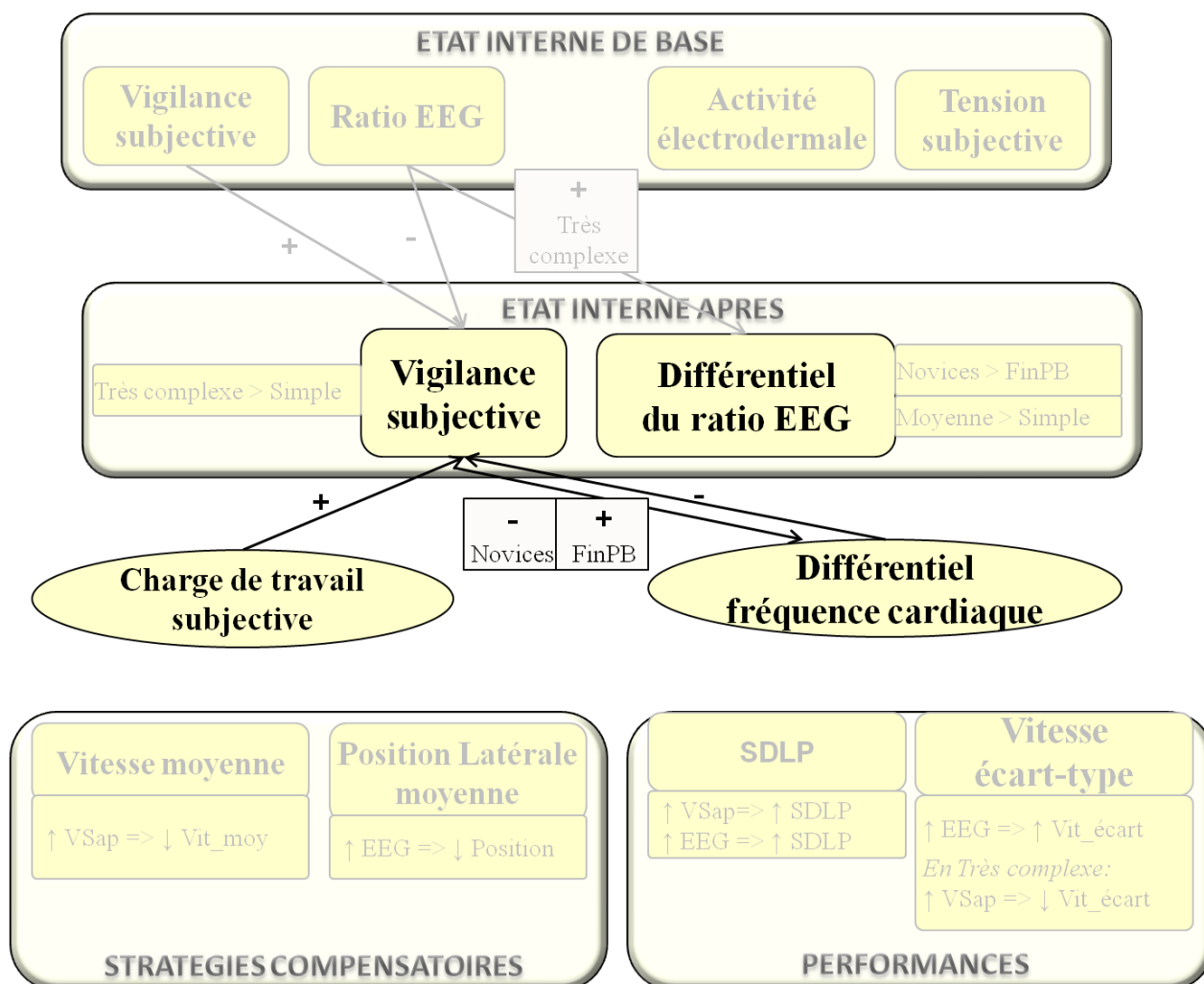
Les niveaux subjectif et physiologique de vigilance influençaient les niveaux subjectif et physiologique de la charge de travail, et était également influencée par la situation, l'expérience ainsi que les niveaux subjectif et physiologique de tension avant chaque situation. Par ailleurs, la vigilance avait une influence sur les performances de conduite et les stratégies compensatoires mises en œuvre (voir Figure 124).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse.

Figure 124. Effets modulateurs d'une composante de l'état interne après chaque situation : la vigilance (niveaux subjectif et physiologique).

Tout d'abord, nous pouvons nous centrer sur les relations entre les niveaux subjectifs et physiologiques de vigilance et de charge de travail (voir Figure 125).



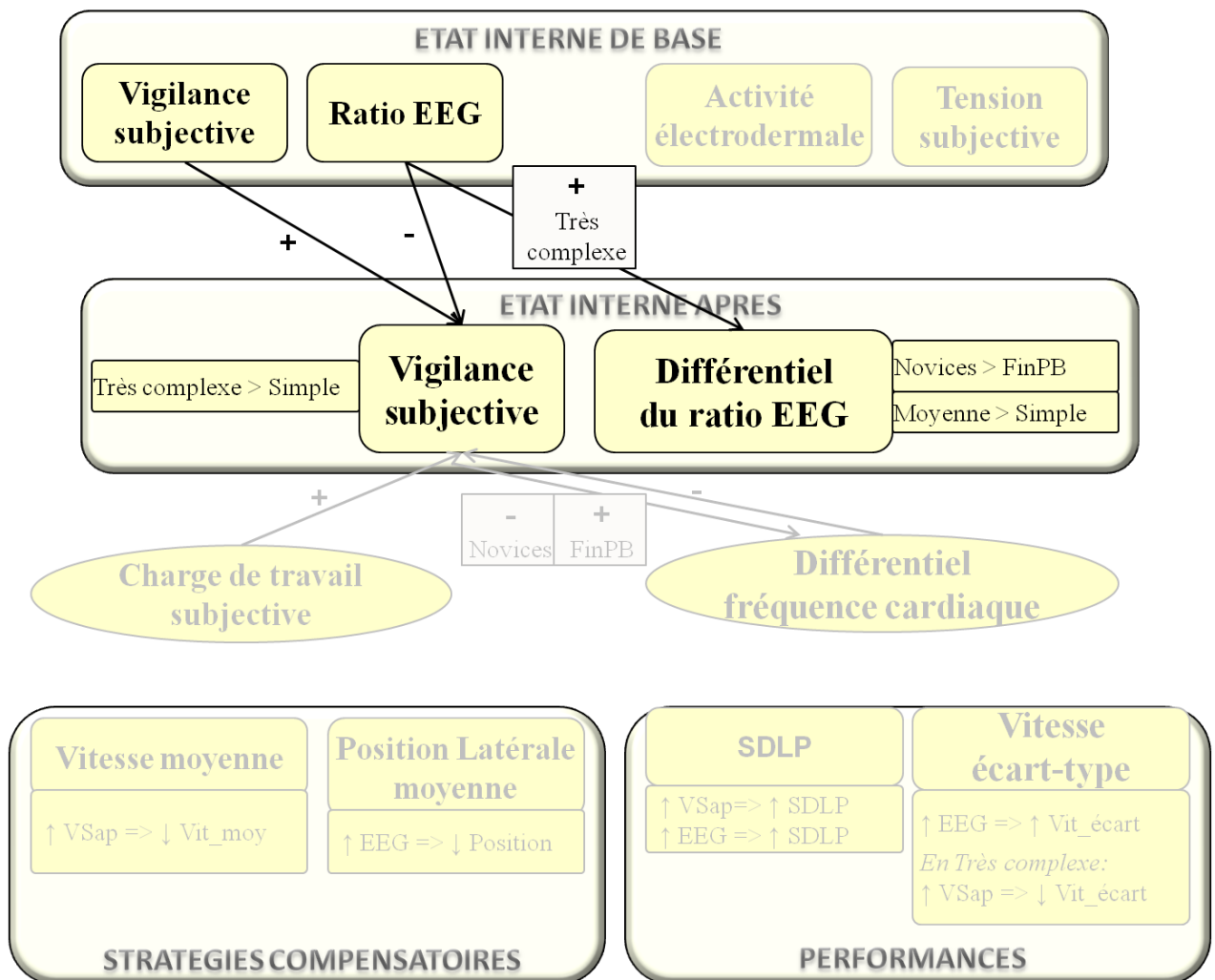
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 125. Relations entre niveaux subjectifs et physiologiques de vigilance et de charge de travail.

La hausse de vigilance subjective après chaque situation diminuait le différentiel de fréquence cardiaque pour les novices tandis qu'elle l'augmentait pour les conducteurs à la fin du permis probatoire (voir Figure 127). Pour les novices, le fait de se sentir vigilant les rassurait probablement quant à leurs capacités de conduite, diminuant ainsi l'effort physiologique fourni pour effectuer la tâche de conduite. A l'inverse, pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le fait de se sentir vigilant les rendait probablement davantage conscients des dangers éventuels de la situation, augmentant ainsi leur effort physiologique pour effectuer la tâche de conduite avec la plus grande attention. De plus, la hausse de charge de travail

subjective augmentait la vigilance subjective après chaque situation tandis que la hausse du différentiel de fréquence cardiaque la diminuait. Pour l'ensemble des conducteurs, le fait d'être conscients de fournir un effort important pour réaliser la tâche les rendait probablement davantage vigilants afin de pouvoir se concentrer sur la tâche. A l'inverse, le fait de fournir un effort physiologique sans en être conscient rendait les conducteurs probablement moins vigilants dans la mesure où ils ne devaient pas juger nécessaire d'avoir un niveau de vigilance élevé pour réaliser la tâche, qui pouvait être effectuée sans effort conscient.

La composante « vigilance » de l'état d'activation interne avant chaque situation influençait les niveaux subjectif et physiologique de vigilance (voir Figure 126).

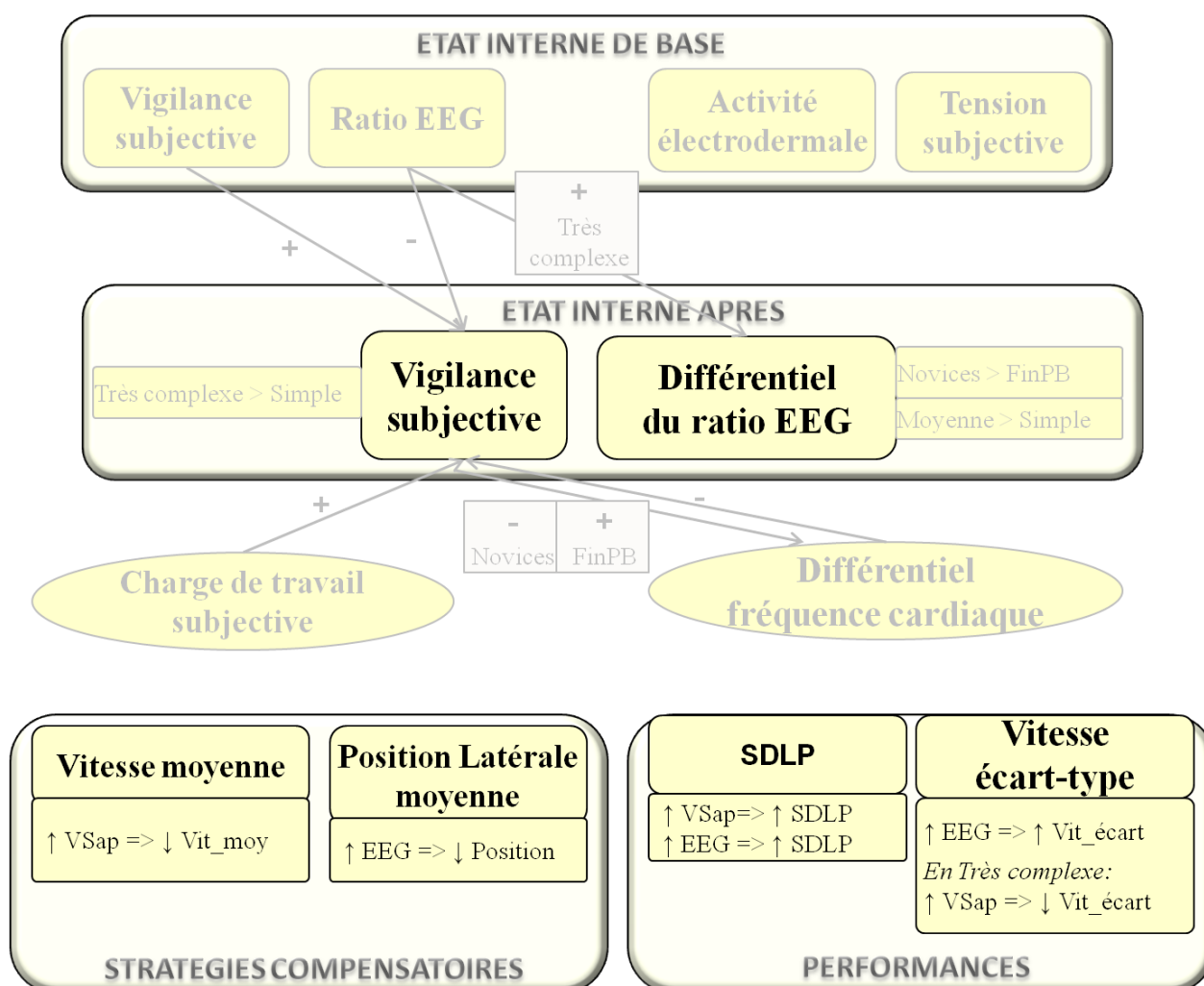


Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 126. Effets sur la vigilance subjective après chaque situation et le différentiel d'activité du ratio EEG.

Comme attendu, en situation très complexe, le niveau subjectif de vigilance avant chaque situation déterminait le niveau subjectif de vigilance après la passation (voir Figure 126). Concernant la vigilance physiologique, un niveau élevé avant la situation très complexe entraînait un niveau élevé après la passation. A l'inverse, en situation moyennement complexe, un faible niveau avant provoquait un niveau élevé après la passation. De plus, ce niveau physiologique de vigilance était plus élevé pour les novices que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, ce qui pourrait être expliqué par le fait que les novices n'avaient pas encore automatisé l'ensemble des routines de conduite (Engströme et al., 2003).

Les niveaux subjectif et physiologique de vigilance influençaient les performances de conduite ainsi que les stratégies compensatoires (voir Figure 127).



Notes : \uparrow : hausse ; \downarrow : baisse.

Figure 127. Effets de la vigilance subjective après chaque situation et du différentiel du ratio EEG.

La hausse de vigilance subjective après chaque situation entraînait la réduction de la vitesse moyenne mais dégradait toutefois les performances avec une perte du contrôle de la position latérale du véhicule malgré. Le fait de se sentir vigilant favorisait probablement la prise de conscience de la difficulté de la tâche, entraînant la mise en place de stratégies compensatoires, notamment la réduction de la vitesse, sans toutefois que celles-ci soient totalement efficaces puisqu'une perte du contrôle de la position latérale du véhicule s'observait malgré tout. La vitesse devait donc quand même restée trop élevée par rapport aux capacités des conducteurs. La hausse de vigilance subjective après la situation très complexe améliorait les performances avec un meilleur contrôle de la vitesse. Durant cette situation, la tâche de conduite devenait probablement difficile et il était donc nécessaire d'avoir un certain niveau de vigilance pour adapter sa vitesse sans trop de variations.

Contre toute attente, la hausse du niveau physiologique de vigilance dégradait les performances avec une perte du contrôle de la vitesse et du contrôle de la position latérale du véhicule. Ceci pouvait s'expliquer par une sur-confiance des conducteurs qui prenaient probablement davantage de risque. En effet, les conducteurs se positionnaient plus fréquemment vers le marquage central lorsque le niveau physiologique de vigilance augmentait, certainement pour compenser la prise de risque en conduite et garder un repère dans le guidage de leur trajectoire.

4.1.4 Corrélations entre niveaux subjectifs et physiologiques

Parmi les corrélations entre les niveaux subjectifs et physiologiques de chaque variable, la tension subjective après chaque situation et le différentiel du ratio EEG étaient positivement corrélés :

	CTS et DFC	TSap et EDA	VSap et EEG
Corrélations	N.S	POSITIVE	N.S

Aucun lien n'était observé entre les niveaux subjectif et physiologique de charge, ni de vigilance. Ceci peut être dû au fait que la fréquence cardiaque ainsi que l'électro-encéphalogramme sont des signaux qui ont des temps de latence plus élevés que l'activité électrodermale et qui présentent donc une variation d'amplitude élevée, contrairement au

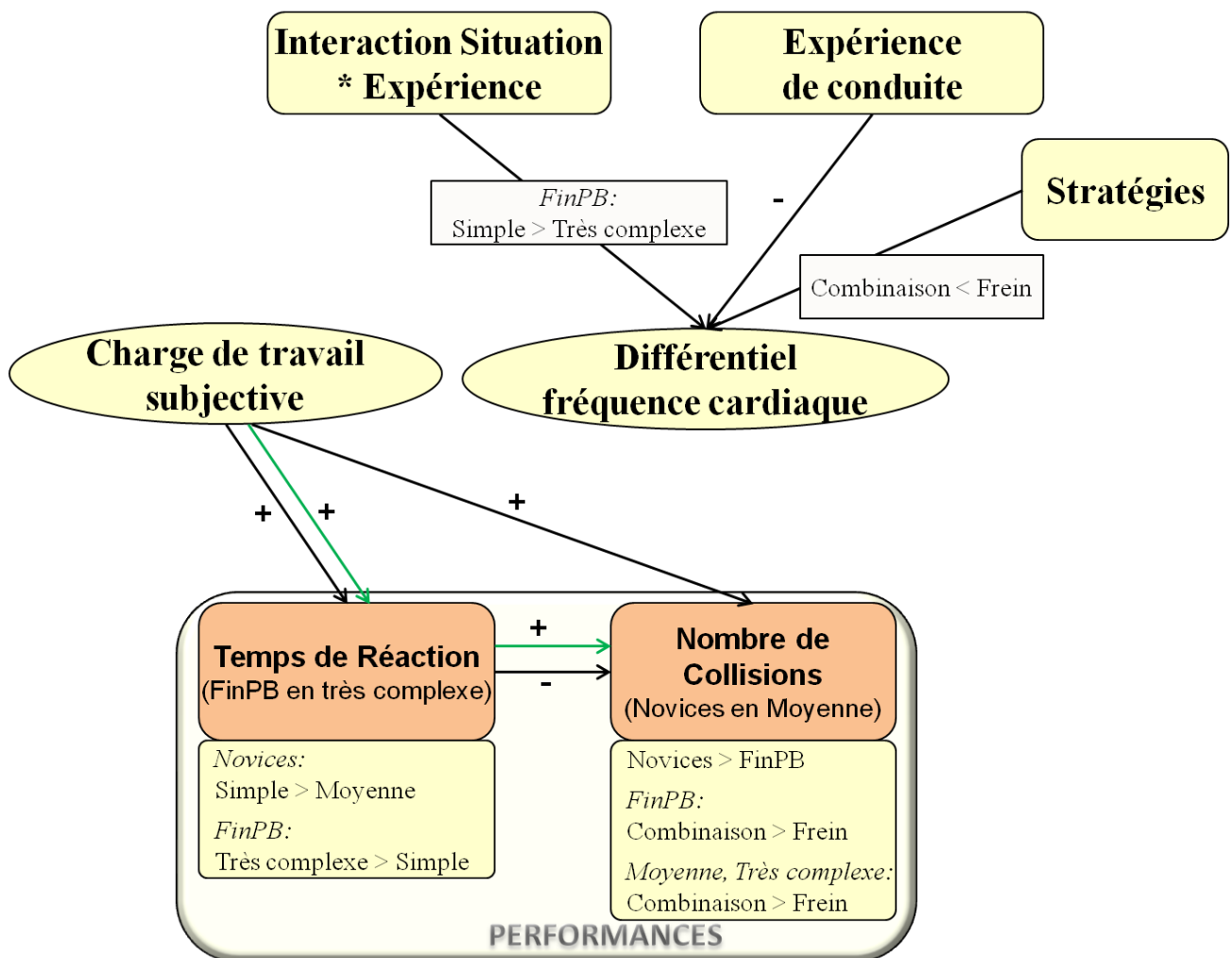
signal d'activité électrodermale qui reste stable dans le temps. Ainsi, ce dernier représente une mesure plus fiable.

Après avoir identifié les différents effets entre la complexité de la situation, l'expérience de conduite, le niveau interne, la charge de travail, les performances et les stratégies compensatoires sur les portions sans piétons, les portions avec piétons vont être abordés.

4.2. Portions avec piétons

4.2.1 Surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

L'ensemble des résultats concernant les effets de la situation et de l'expérience sur les niveaux subjectif et physiologique de charge de travail, puis les effets de la situation, de l'expérience et de la charge de travail sur les performances de conduite (TR et nombre de collisions), et enfin l'effet des stratégies d'évitement des piétons sur la charge de travail et les performances de conduite ont permis d'identifier les facteurs de surcharge en fonction des stratégies efficaces d'évitement des piétons (voir Figure 128).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 128. Surcharge de travail et stratégies compensatoires en fonction de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite.

La charge de travail subjective attribuée aux portions sans piétons n'était pas influencée par l'expérience de conduite, ni par la complexité de la situation ou encore par les stratégies d'évitement des piétons. Les conducteurs n'étaient donc pas conscients d'un coût physiologique engendré par la situation. En effet, le niveau physiologique de charge de travail était élevé en situation très complexe pour les conducteurs à la fin du permis probatoire alors qu'aucune différence de charge n'était observée pour les novices, probablement car la tâche de conduite était pour eux difficile quelle que soit la situation. En effet, le niveau de différentiel de fréquence cardiaque était plus élevé que celui des conducteurs à la fin du permis probatoire (voir Figure 128), probablement dû à un manque d'automatisation des routines de conduite (Engströme et al., 2003).

La hausse de la charge de travail subjective allongeait les TR, notamment pour les conducteurs à la fin du permis probatoire en situation très complexe, situation dans laquelle ils seraient donc surchargés. Trois années d'expérience n'étaient visiblement pas suffisantes pour permettre aux conducteurs de réagir rapidement face à un danger, en particulier lorsque la charge de travail due à la complexité de la situation s'intensifiait (TR longs en situation très complexe). Au contraire, les TR des novices face à l'apparition des piétons s'avéraient plus longs en situation simple. Ceci peut s'expliquer par un manque de vigilance observé dans la situation simple et monotone, allongeant ainsi les TR au moment de l'apparition des piétons. Dans des situations plus complexes, la présence d'éléments supplémentaires leur permettait certainement d'être davantage vigilants et prêts à réagir rapidement.

Conformément à nos attentes, la hausse de la charge de travail subjective augmentait le nombre de collisions, soit de manière directe, soit par l'intermédiaire d'un allongement des TR. Ainsi, les résultats révélaient une surcharge de travail des novices en situation moyennement complexe malgré des TR courts. La mise en œuvre de stratégies d'évitement des piétons semblait donc inefficace. Cependant, de manière attendue, le nombre de collisions avec les piétons était plus élevé pour les novices que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.

4.2.2 Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons

La stratégie de freinage était plus coûteuse physiologiquement que la stratégie de la combinaison (freinage-écart). Une explication possible est que la combinaison d'un freinage et d'un écart s'établissait au dernier moment, avec tout d'abord un freinage jugé inefficace par rapport à la pression temporelle, puis un écart d'urgence comme dernière solution pour éviter les piétons. Il était donc probablement plus coûteux de prendre le temps de freiner suffisamment tôt et fort pour éviter les piétons que de faire une combinaison (freinage-écart) plus tardive.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, le nombre de collisions avec les piétons était plus élevé lorsqu'ils adoptaient la stratégie de la combinaison (freinage-écart) que lorsqu'ils freinaient uniquement. Le freinage était donc plus efficace, certainement car il avait lieu dans ce cas-là plus précocement que lors d'une combinaison freinage-écart qui était adoptée au dernier moment.

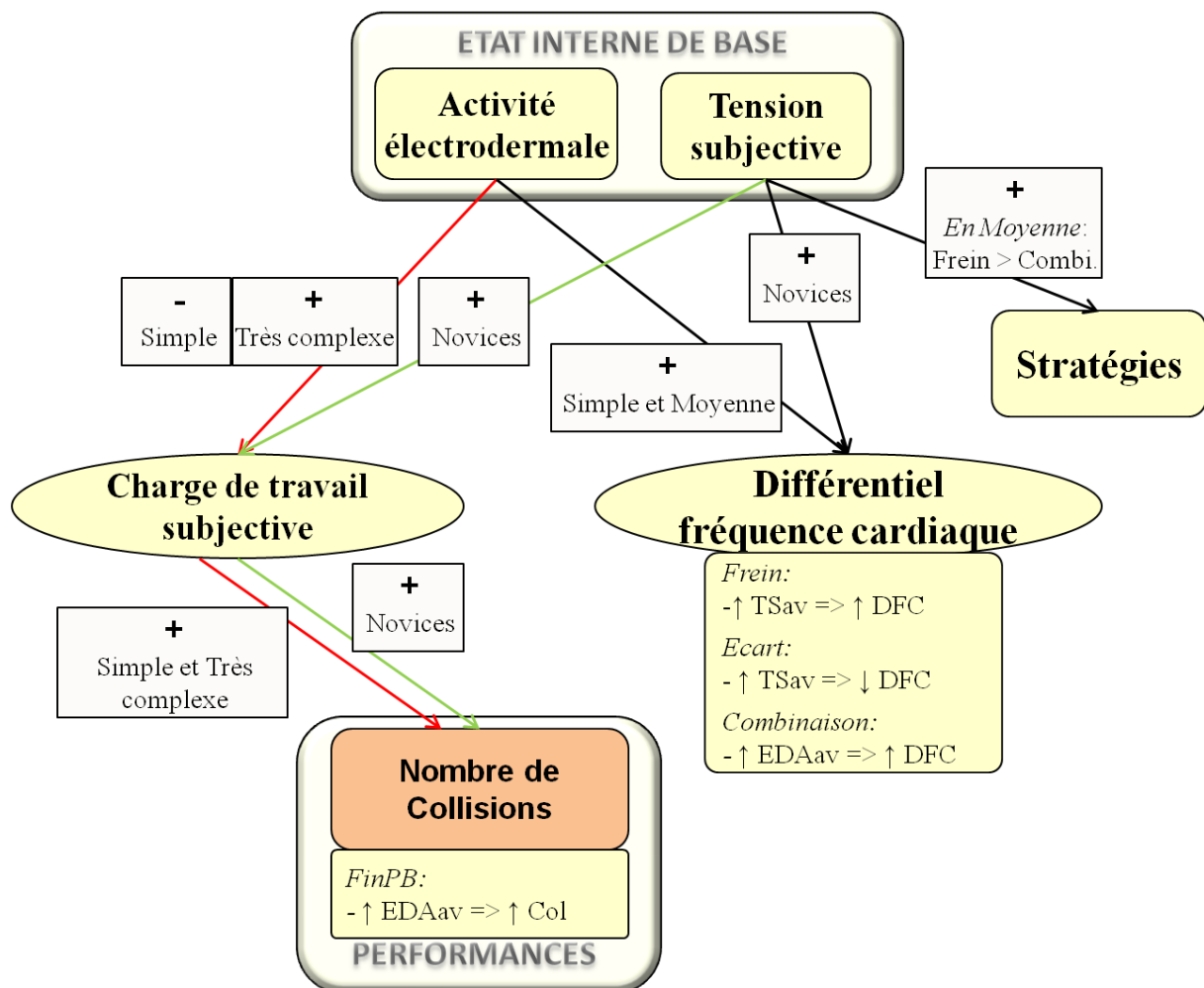
4.2.3 Niveau d'activation interne : effets modulateurs sur la surcharge ?

Les résultats des effets du niveau d'activation interne avant et après chaque situation sur la charge de travail subjective attribuée aux piétons, le différentiel de fréquence cardiaque, les stratégies d'évitement des piétons et les performances de conduite, ainsi que les effets de la situation et de l'expérience sur le niveau interne d'activation ont permis d'identifier si le niveau d'activation interne modulait la surcharge de travail.

Etat interne avant chaque situation

Seuls les novices avaient un niveau d'activation physiologique interne élevé avant chaque situation, avec une corrélation négative entre l'activité électrodermale moyenne et le ratio EEG. Cette forte dépense énergétique les prédisposait donc à la surcharge.

Avant chaque situation, la tension subjective et l'activité électrodermale avaient des effets modulateurs à différents niveaux (voir Figure 129).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 129. Effets d'une composante de l'état interne avant chaque situation : la tension (niveaux subjectif et physiologique).

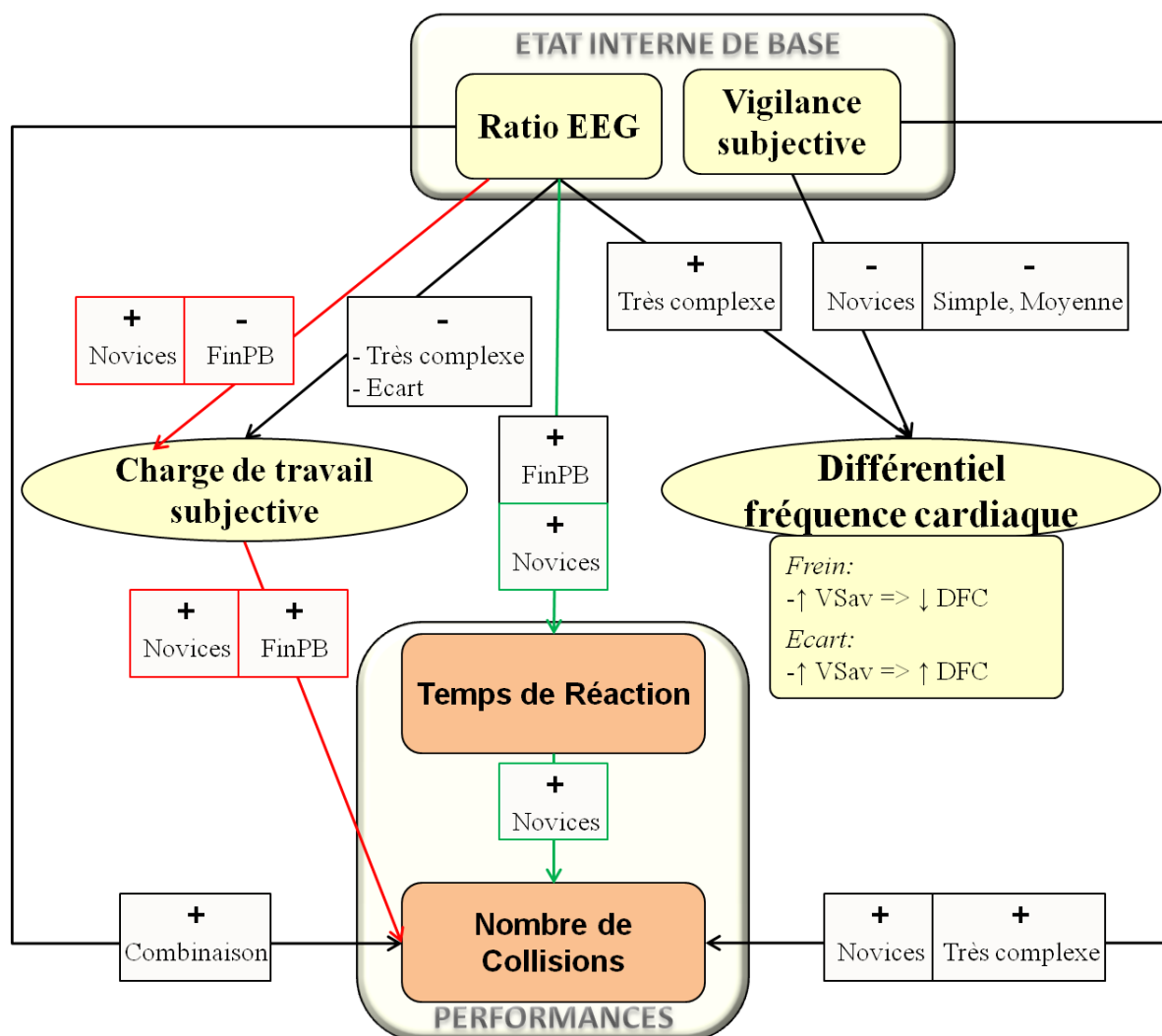
Dans une situation complexe, un niveau physiologique de tension élevé avant la passation entraînait un niveau subjectif de charge de travail élevé, qui à son tour augmentait le nombre de collisions. A l'inverse, dans une situation simple, un faible niveau physiologique de tension entraînait un niveau subjectif de charge de travail élevé, qui à son tour augmentait le nombre de collisions (voir Figure 129). La surcharge de travail (hausse de la charge dégradant les performances) était donc provoquée par un faible niveau physiologique de tension en situation simple, et par un niveau élevé en situation très complexe. Avant la situation simple, il était donc nécessaire que les conducteurs soient physiologiquement tendus afin de sortir de

leur automatisation de la conduite sur la route monotone et d'être prêts à éviter les piétons. En effet, un niveau trop faible de tension ne permettait donc pas d'éviter la surcharge. Avant la situation très complexe, le fait d'être physiologiquement tendu n'était pas favorable pour abaisser la charge de travail ressentie dans la mesure où la situation était difficile. Ainsi, la tension favorisait la surcharge de travail. De plus, pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, un niveau physiologique de tension élevé avant chaque situation entraînait directement un nombre élevé de collisions avec les piétons. Malgré le fait que le nombre de collisions restait faible comparativement aux novices, une tension élevée avant la passation dégradait cependant les performances chez des conducteurs plus expérimentés. .

Concernant la tension subjective, seuls les novices voient leurs performances se dégrader lorsqu'ils se sentent tendus, et ce, quelque soit la complexité de la situation. Ce ressenti avait ensuite des répercussions sur le différentiel de fréquence cardiaque mesuré au cours de la conduite, indiquant que le fait de se sentir tendu augmentait la charge de travail, et le coût physiologique de la tâche. Ceci était certainement dû au manque d'expérience, rendant ainsi l'appréhension des piétons, et leur évitement, difficiles.

Concernant les stratégies d'évitement des piétons mises en œuvre, dans une situation suffisamment complexe mais pas trop que représente la situation moyennement complexe dans cette étude, les conducteurs adoptent la stratégie de freinage plutôt que la stratégie de la combinaison (freinage-écart) lorsqu'ils se sentent tendus. Ceci laisse penser que l'état de tension préalablement ressentie permettait aux conducteurs d'être prêts à freiner suffisamment tôt pour éviter les piétons, sans devoir faire un écart au dernier moment. Cette stratégie s'accompagnait d'un coût physiologique élevé (différentiel de fréquence cardiaque plus élevé dans le cas d'un freinage). La stratégie d'évitement freinage-écart pouvait cependant entraîner également un coût physiologique élevé lorsque la tension physiologique était elle-aussi élevée avant la passation. Ainsi, lorsque les conducteurs effectuaient une combinaison du freinage et de l'écart et qu'ils étaient préalablement tendus physiologiquement, cette stratégie d'évitement était probablement mise en œuvre tardivement avec l'espoir de freiner à temps. Mais, se rendant compte que cela ne serait pas efficace, ils devaient effectuer un écart d'urgence, produisant ainsi un coût physiologique.

De même que la tension, avant chaque situation, la vigilance subjective et le ratio EEG avaient des effets modulateurs à différents niveaux (voir Figure 130).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 130. Effets d'une composante de l'état interne avant chaque situation : la vigilance (niveaux subjectif et physiologique).

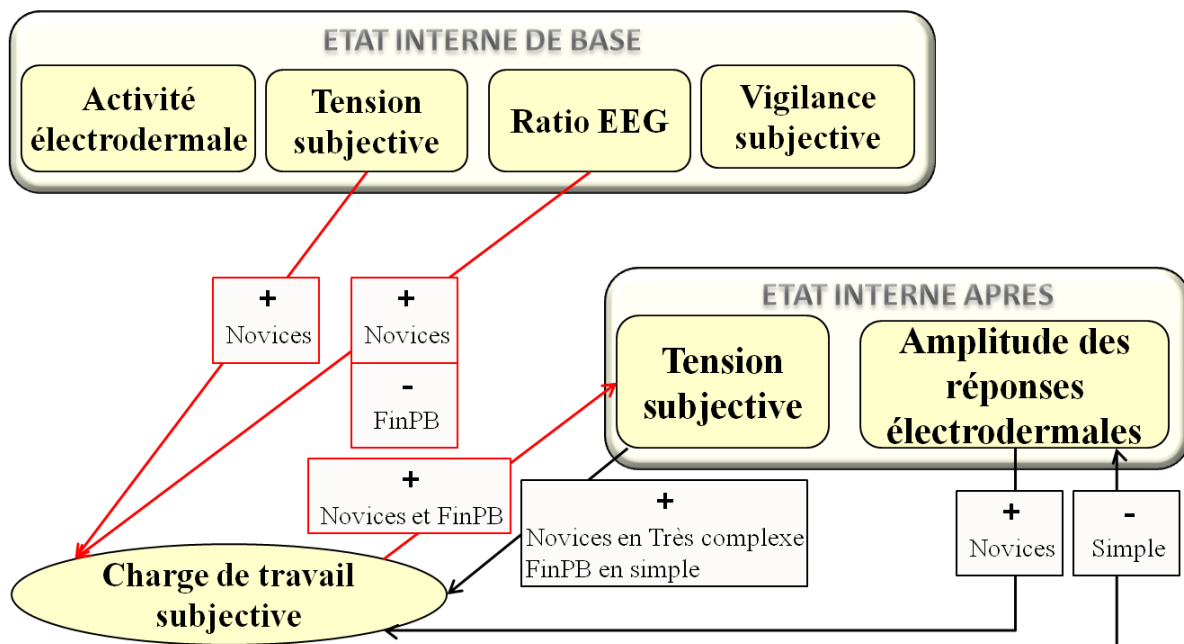
Tout comme ce qui a été observé pour la tension physiologique, le niveau physiologique de vigilance avait des effets contraires sur la charge de travail subjective selon le groupe de conducteurs. Un niveau subjectif de charge de travail élevé chez les novices était dû à un niveau de vigilance également élevé, provoquant une dégradation des performances, alors que, chez les conducteurs à la fin du permis probatoire, il était dû à un faible niveau de vigilance avec les mêmes conséquences sur les performances. Ainsi, la surcharge de travail était due à un niveau physiologique de vigilance élevé pour les novices, et faible pour les

conducteurs à la fin du permis probatoire. Pour les novices, le fait d'être vigilant avant de débiter la conduite ne les aidait pas, probablement car ils étaient davantage conscients du danger. En effet, de part leur manque d'expérience, n'ayant pas encore eu l'habitude de gérer beaucoup d'évènements dangereux, la gestion de l'évitement des piétons entraînait une charge de travail importante, d'autant plus qu'ils étaient vigilants. A l'inverse, c'est le manque de vigilance des conducteurs à la fin du permis probatoire qui les empêchait d'être apte à appréhender correctement la survenue des piétons, générant ainsi une surcharge avec un coût perçu élevé.

Etat interne après chaque situation

➤ Tension

Une relation bidirectionnelle entre la charge de travail subjective et les niveaux subjectif et physiologique de tension (état interne après chaque situation) étaient observées (voir Figure 131).



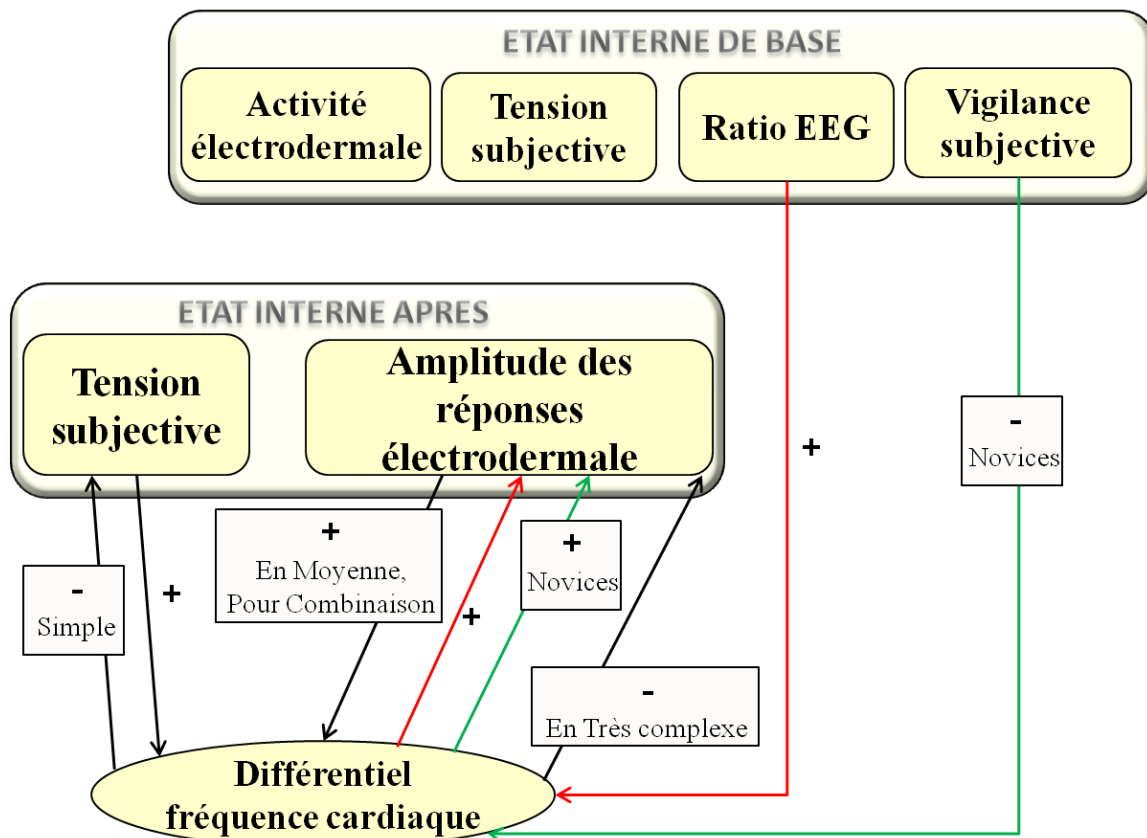
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 131. Relations entre tension subjective après chaque situation, amplitude des réponses électrodermales et charge de travail subjective.

Comme indiqué sur la figure 131, et contrairement à nos attentes, malgré qu'ils soient vigilants avant la tâche, les novices ressentaient un coût important aux moments de l'apparition des piétons. Ceci pourrait s'expliquer par une conscience plus importante du danger de part leur niveau de vigilance et de tension entraînant un coût ressenti élevé pour faire face à ce danger, et expliquant ensuite un niveau élevé de tension ressentie. Comme précédemment, pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, c'est au contraire un faible niveau physiologique de vigilance avant chaque situation qui entraînait un niveau subjectif de charge de travail élevé, et ensuite un niveau élevé de tension subjective. On peut alors expliquer cela par un effet de surprise plus élevé lors de l'apparition soudaine des piétons dû à un manque de vigilance, provoquant ainsi un effort perçu important qui entraînait une tension élevée. Réciproquement, pour les novices en situation très complexe et pour les conducteurs à la fin du permis probatoire en situation simple, un niveau élevé de tension subjective après chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective. Pour les novices, le fait de se sentir tendu après la situation très complexe signifiait que la difficulté de la tâche était probablement très élevée pour eux, dans la mesure où ils n'avaient pas encore automatisé l'ensemble des routines de conduite (Engströme et al., 2003). Par conséquent, cette tension perçue favorisait un effort d'autant plus important afin de gérer l'évènement dangereux (traversée du piéton), d'où une charge perçue élevée. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, cela se produisait uniquement en situation simple, probablement car ils se sentaient tendus, luttant contre la baisse de vigilance, et conscients des dangers d'endormissement que cela représente. Le fait de se sentir tendu accentuait donc l'effort investi pour gérer la traversée soudaine des piétons, augmentant ainsi la charge de travail subjective.

Par ailleurs, pour les novices, la hausse d'amplitude des réponses électrodermales augmentait la charge de travail subjective. Ainsi, la tension physiologique provoquée par l'apparition des piétons leur donnait le sentiment de devoir réaliser un effort important pour éviter les piétons, probablement, encore une fois, de part leur manque d'expérience par rapport à la gestion des évènements dangereux. Ceci étant, lors d'une situation simple, un autre schéma apparaissait, et un niveau élevé de charge perçue semblait permettre de mieux se préparer à éviter les piétons, réduisant ainsi la tension physiologique observée communément lors de l'apparition des piétons.

Les niveaux subjectif et physiologique de tension avaient une relation bidirectionnelle avec le différentiel de fréquence cardiaque (voir Figure 132).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 132. Relations entre tension subjective après chaque situation, amplitude des réponses électrodermales et différentiel de fréquence cardiaque.

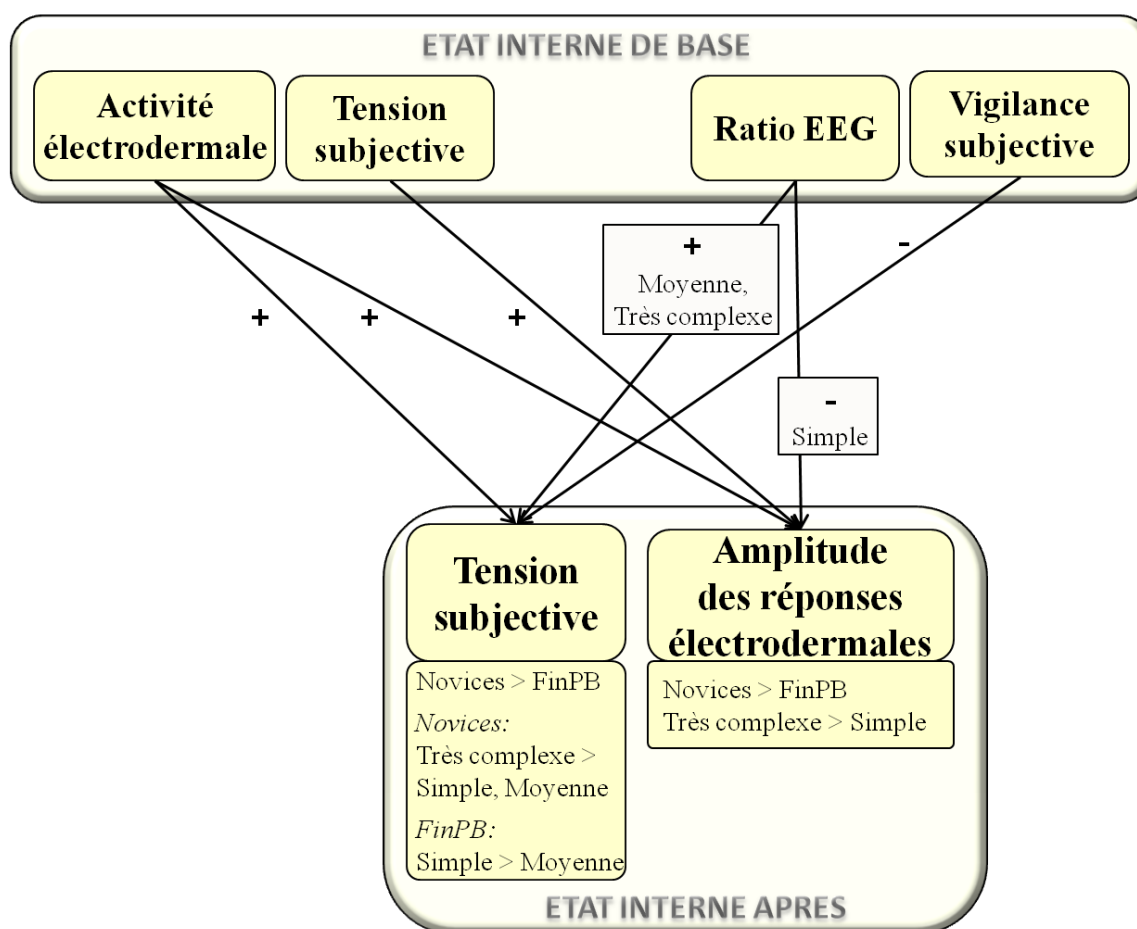
Comme attendu, globalement, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait le différentiel de fréquence cardiaque. Cependant, en situation simple, la hausse du différentiel de fréquence cardiaque diminuait la tension subjective après chaque situation. Durant cette situation monotone, un coût physiologique élevé, probablement nécessaire pour lutter contre la baisse de vigilance, permettait aux conducteurs de se sentir davantage opérationnels et entraînait moins de tension.

Les relations en cascade observées entre les différentes composantes physiologiques de la vigilance, la charge de travail et la tension indiquaient que le fait d'être vigilant avant de débiter la conduite permettait de fournir un effort nécessaire pour la conduite. Et, de manière attendue, cet effort entraînait une augmentation de la tension. Pour les novices, ces relations

étaient, encore une fois, modulées par l'effet de la dimension subjective de la vigilance. Lorsque les novices s'estimaient peu vigilants, l'effort physiologique fourni était plus élevé entraînant ensuite une augmentation de la tension physiologique. Par ailleurs, dans la situation la plus complexe, être confronté à une charge physiologique élevée permettait d'être davantage préparé à réagir à la survenue de piétons, ce qui abaissait la tension physiologique.

Concernant les stratégies d'évitement, la tension physiologique affectait la charge de travail physiologique seulement lors de la mise en œuvre d'une combinaison freinage-écart en situation moyennement complexe. Ainsi, la stratégie de combinaison devait être adoptée au dernier moment, entraînant ainsi un niveau physiologique de tension élevé face aux piétons, qui augmentait par conséquent les battements cardiaques.

Différents facteurs influençaient les niveaux subjectif et physiologique de tension (voir Figure 133).



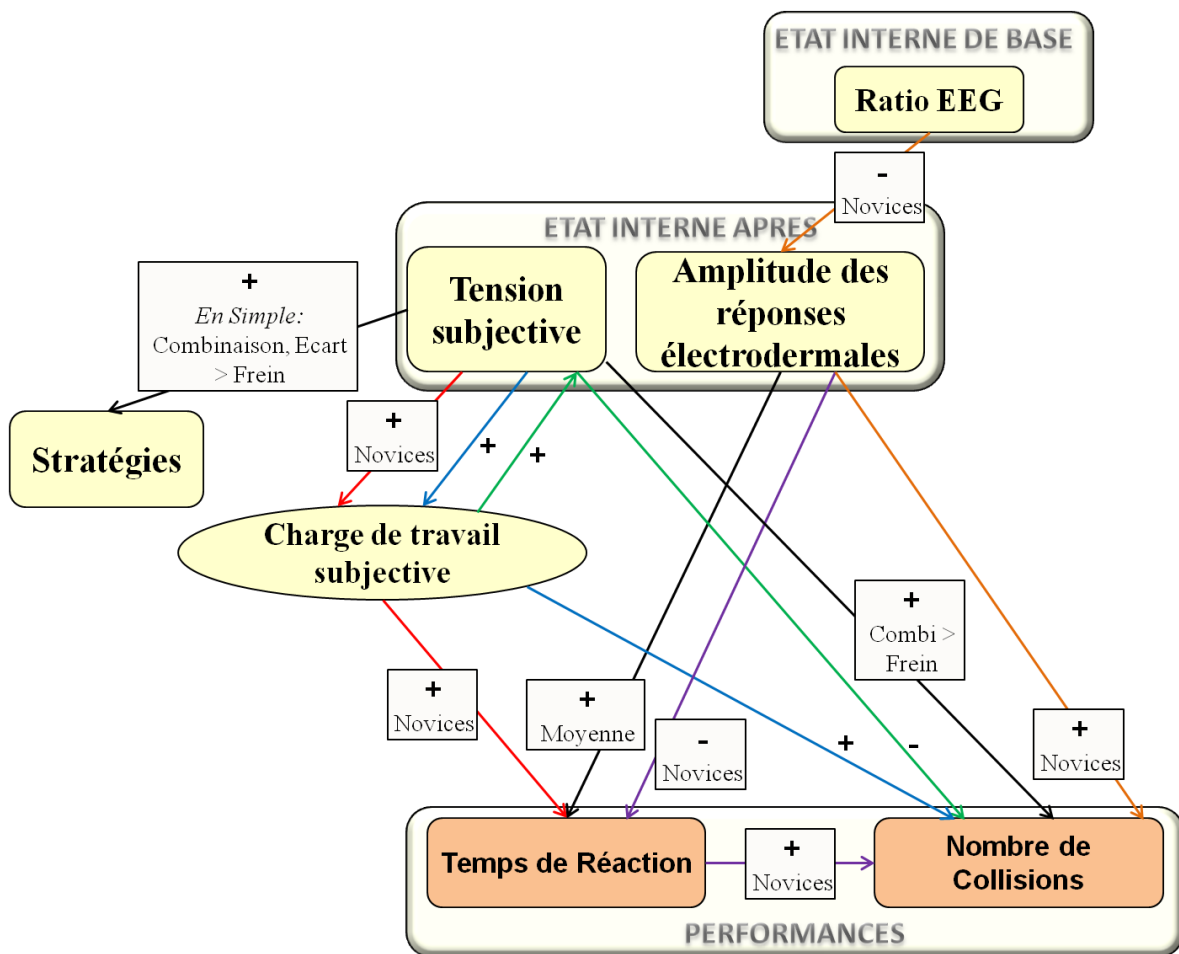
Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 133. Effets sur la tension subjective après chaque situation et l'amplitude des réponses électrodermales.

Comme montré sur la figure 133, et conformément à nos attentes, un niveau d'activation interne élevé avant de débiter la conduite, entraînant une dépense énergétique importante, favorisait un niveau de tension élevé. De plus, lorsque la situation se complexifie, un niveau physiologique de vigilance élevé entraînait un niveau subjectif de tension élevé. Ainsi, le fait d'être vigilant ne permettait pas d'abaisser la tension perçue. De plus, comme attendu, ce niveau subjectif de tension était plus élevé pour les novices, en particulier lorsque la situation était très complexe, que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, pour lesquels la tension était plus élevée en situation simple. Pour les uns, cela peut s'expliquer par un manque de compétences pour effectuer la tâche de conduite, pour les autres, par une appréhension à l'endormissement durant une situation monotone.

De manière attendue, l'état initial de tension, aussi bien physiologique que subjectif, ainsi qu'un faible niveau de vigilance physiologique, entraînait une augmentation de l'amplitude des réponses électrodermales lors de l'apparition des piétons. Les conducteurs n'étaient donc pas suffisamment alertes pour appréhender l'apparition soudaine des piétons avec sérénité. Conformément à nos attentes, le niveau physiologique de tension dû aux piétons était plus élevé pour les novices que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, aussi bien en situation très complexe qu'en situation simple.

De nombreux effets de la tension subjective et physiologique s'effectuaient de manière indirecte sur les performances de conduite (voir Figure 134).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 134. Effets de la tension subjective après chaque situation et l'amplitude des réponses électrodermales.

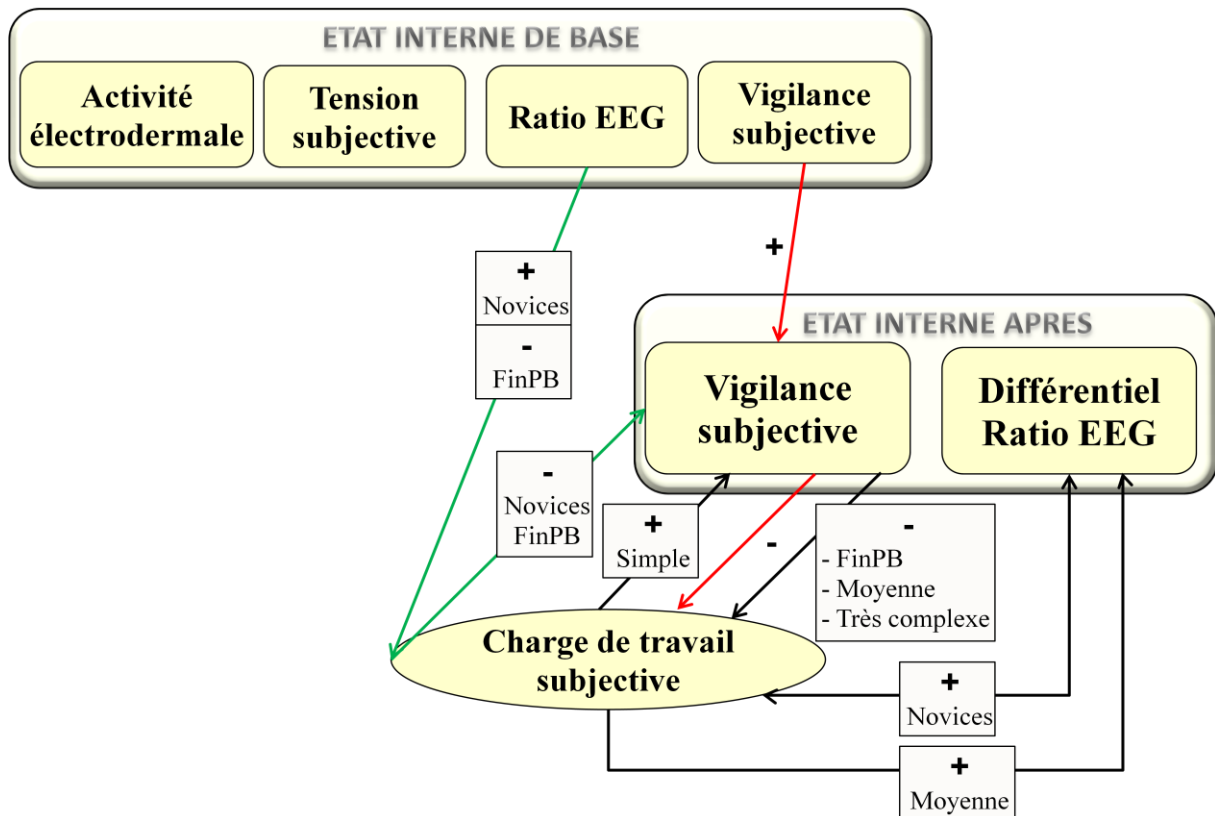
Pour les novices, conformément à nos attentes, les performances de conduite étaient détériorées (allongement des TR) lorsque la tension après chaque situation et la charge de travail subjectives étaient élevées. De plus, une tension physiologique élevée en réponse à l'apparition des piétons dégradait les performances, mais seulement en situation moyennement complexe. Le fait d'être tendu face aux piétons ne permettait donc pas de réagir rapidement, probablement car le niveau de complexité de la situation était trop important pour maintenir de bonnes performances (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908). Pour les novices, c'est, au contraire une tension physiologique élevée en réponse à l'apparition des piétons qui allongeait les TR, et augmentait ainsi le nombre de

collisions avec les piétons. Le fait d'être peu tendu face aux piétons dégradait probablement les performances dans la mesure où ce groupe avait besoin d'un niveau minimum de tension pour pouvoir réagir rapidement face à l'apparition soudaine des piétons et ainsi éviter la collision. En effet, leurs capacités ne leur permettaient probablement pas de gérer ce type d'évènement dangereux sans avoir un minimum de tension (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908). Conformément à nos attentes, de manière générale, un nombre de collisions élevé était associé à un niveau de vigilance physiologique de base faible provoquant une amplitude élevée des réponses électrodermales et une hausse de tension subjective après chaque situation qui augmentait la charge de travail subjective. Ainsi, cela démontre à nouveau l'importance d'une vigilance élevée afin d'assurer des performances correctes. Par ailleurs, la hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective après chaque situation. Cependant, le niveau élevé de tension diminuait à son tour le nombre de collisions avec les piétons, probablement de part un niveau juste suffisamment élevé pour optimiser les performances et compenser le niveau faible de vigilance (voir modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson, 1908).

Le nombre de collisions était plus élevé si les conducteurs adoptaient la stratégie de la combinaison (freinage-écart) plutôt que la stratégie de freinage, et ce lorsque le niveau de tension subjective était élevé. Tout comme précédemment, le freinage était certainement plus efficace car il était effectué plus tôt que la combinaison et la tension générée était plus alors plus faible. En situation simple, une tension subjective accrue semblait être propice à l'adoption de stratégies de combinaison freinage-écart et d'écart plutôt que de freinage. Avec la monotonie, le niveau de vigilance étant faible, les conducteurs n'étaient pas préparés à réagir rapidement pour éviter les piétons, et mettaient en œuvre des stratégies d'évitement tardives.

➤ Vigilance

Les niveaux subjectif et physiologique de vigilance avaient une relation bidirectionnelle avec la charge de travail subjective (voir Figure 135).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 135. Relations entre vigilance subjective après chaque situation, différentiel du ratio EEG et charge de travail subjective.

Le niveau de base de vigilance subjective et physiologique déterminait le niveau de vigilance après chaque situation, qui à son tour expliquait le niveau de charge de travail subjective. Cela confirmait donc qu'avec un niveau élevé de vigilance, les conducteurs pouvaient réduire leur effort pour réaliser la tâche de conduite, en particulier lorsque les situations sont complexes et les conducteurs expérimentés.

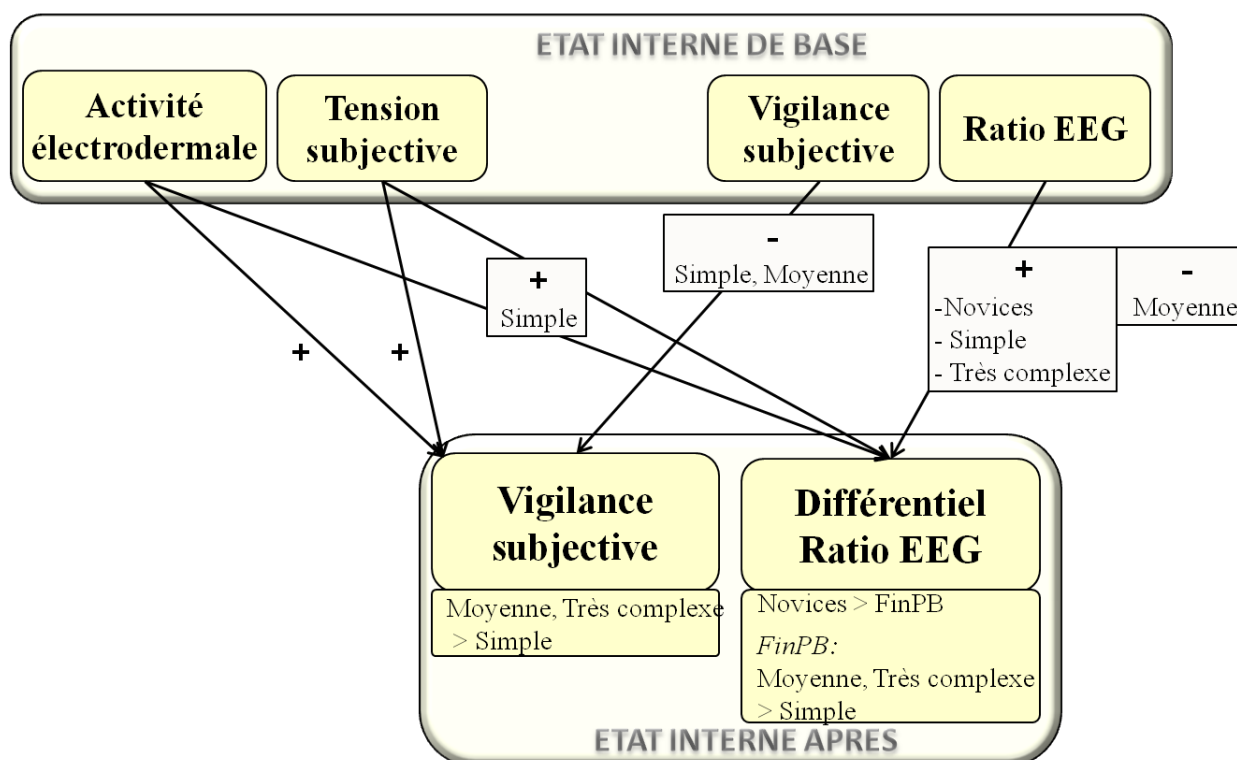
Au contraire, pour les novices, un niveau de vigilance (physiologique et subjective) élevé avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective, qui à son tour provoquait un niveau subjectif de vigilance élevé après chaque situation. Une vigilance élevée avant de débiter la conduite ne compensait donc pas le manque d'expérience concernant la perception d'une charge de travail élevée, mais permettait le maintien d'un

niveau élevée de vigilance tout au long de la conduite (vigilance subjective en situation simple, et vigilance physiologique en situation plus complexe).

Une relation bidirectionnelle était observée entre le différentiel du ratio EEG et le différentiel de fréquence cardiaque, tandis qu'une relation unidirectionnelle était observée entre la vigilance subjective après chaque situation et le différentiel de fréquence cardiaque.

Des profils différents se dégagèrent en fonction du groupe de conducteurs concernant la relation entre la vigilance subjective après chaque situation et le niveau physiologique de charge de travail. Pour les novices, lorsque l'un augmentait, l'autre diminuait tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les deux évoluaient dans le même sens. Ceci démontrait une fois de plus un coût physiologique plus élevé pour les conducteurs les plus expérimentés certainement dû à une charge supplémentaire qu'ils étaient capables d'allouer à des stratégies compensatoires de part leur expérience de la conduite. Par ailleurs, la hausse du niveau physiologique de vigilance augmentait le niveau physiologique de charge et inversement, la hausse du niveau physiologique de charge augmentait le niveau physiologique de vigilance. Ainsi, la tâche était coûteuse mais stimulante, et malgré ce coût important, elle permettait le maintien d'un niveau de vigilance élevé.

Plusieurs facteurs influençaient les niveaux subjectif et physiologique de vigilance (voir Figure 136).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; ↑ : hausse ; ↓ : baisse ; flèches de couleur : relations indirectes.

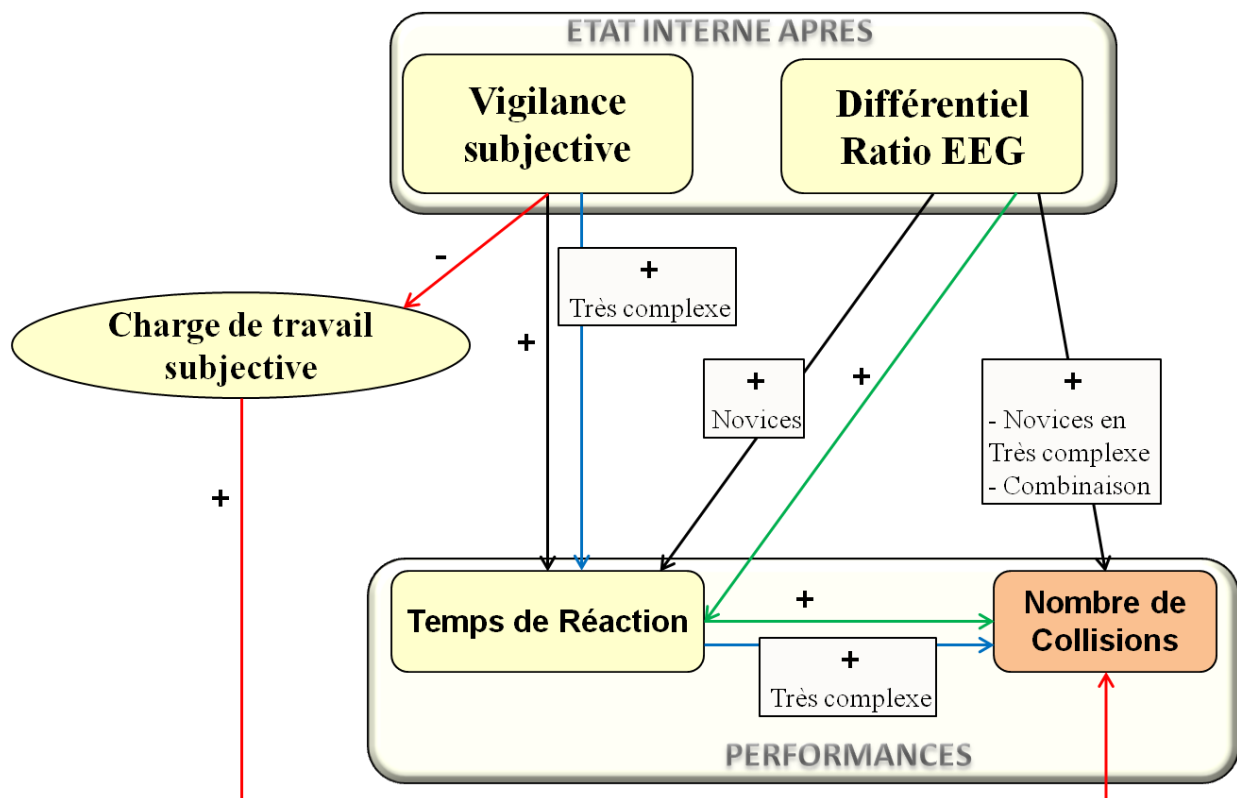
Figure 136. Effets sur la vigilance subjective après chaque situation et le différentiel du ratio EEG.

De manière attendue, une tension élevée (subjective et physiologique) avant chaque situation entraînaient un niveau de vigilance (subjective pour toutes les situations, et physiologique uniquement dans la situation simple) élevé après la passation (voir Figure 136). De plus, conformément à nos attentes, un faible niveau subjectif de vigilance avant les situations simple et moyennement complexe provoquaient un faible niveau subjectif de vigilance après ces situations. La vigilance subjective après la passation était plus élevée en situations moyennement complexe et très complexe par rapport à la situation simple, probablement car conformément à nos attentes, la situation simple et monotone favorisait la baisse de vigilance.

Pour les novices, quelque soit le niveau de base de la vigilance physiologique le niveau de vigilance augmentait durant les passations et était plus élevé que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire. Pour ce dernier groupe, la vigilance physiologique était plus élevée en situations moyennement complexe et très complexe qu'en situation simple, montrant à nouveau la relation existant entre l'intensité de l'activité et les ressources

énergétiques mises en jeu lors de l'exécution de la tâche et maintenant un niveau d'activation interne important.

Les niveaux subjectif et physiologique de vigilance influençaient les performances de conduite (voir Figure 137).



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif ; flèches de couleur : relations indirectes.

Figure 137. Effets de la vigilance subjective après chaque situation et du différentiel du ratio EEG.

Un niveau élevé de vigilance subjective après la passation était associé à des TR plus longs entraînant un nombre de collisions avec les piétons plus important, en particulier lors d'une situation très complexe (voir Figure 137). Malgré des ressources importantes dues à une vigilance élevée, celles-ci n'étaient pas suffisantes compte tenu de la complexité de la tâche (Galy, Cariou, & Mélan, 2012). Pour les novices en situation très complexe et les conducteurs adoptant la stratégie d'évitement consistant à combiner un freinage et un écart (stratégie tardive), l'allongement des TR était non seulement dû à la dimension subjective mais également physiologique de la vigilance. Ceci peut également s'expliquer par le fait que l'organisme des conducteurs novices maintient un niveau élevé d'activation interne en

situation très complexe afin que les individus aient les ressources nécessaires à la tâche de conduite. Par ailleurs, malgré une vigilance élevée la mise en œuvre de la stratégie de combinaison lors de l'évitement des piétons semble trop coûteuse pour maintenir des bonnes performances de conduite et éviter les collisions. De plus, de manière attendue, un coût élevé de la tâche associé à un faible niveau de vigilance dégradait les performances.

4.2.4 Corrélations entre niveaux subjectifs et physiologiques

Comme durant les portions sans piétons, la tension subjective après chaque situation était positivement corrélée à l'amplitude des réponses électrodermales, probablement car ce signal avait un faible temps de latence et représentait donc un indicateur fiable et stable, contrairement à la fréquence cardiaque et à l'électro-encéphalogramme.

	CTS et DFC	TSap et PicsEDA	VSap et EEG
Corrélations	N.S	POSITIVE	N.S

D'après l'ensemble des résultats de cette deuxième expérimentation, il est intéressant de conclure sur les particularités des différents profils de conducteurs en fonction de leur niveau d'expérience et de leur type d'apprentissage.

5. Conclusion

En conclusion, nous pouvons constater des différences importantes entre les deux groupes de conducteurs considérés dans cette étude (les novices AT et les conducteurs à la fin du permis probatoire) aussi bien dans les portions sans qu'avec piétons.

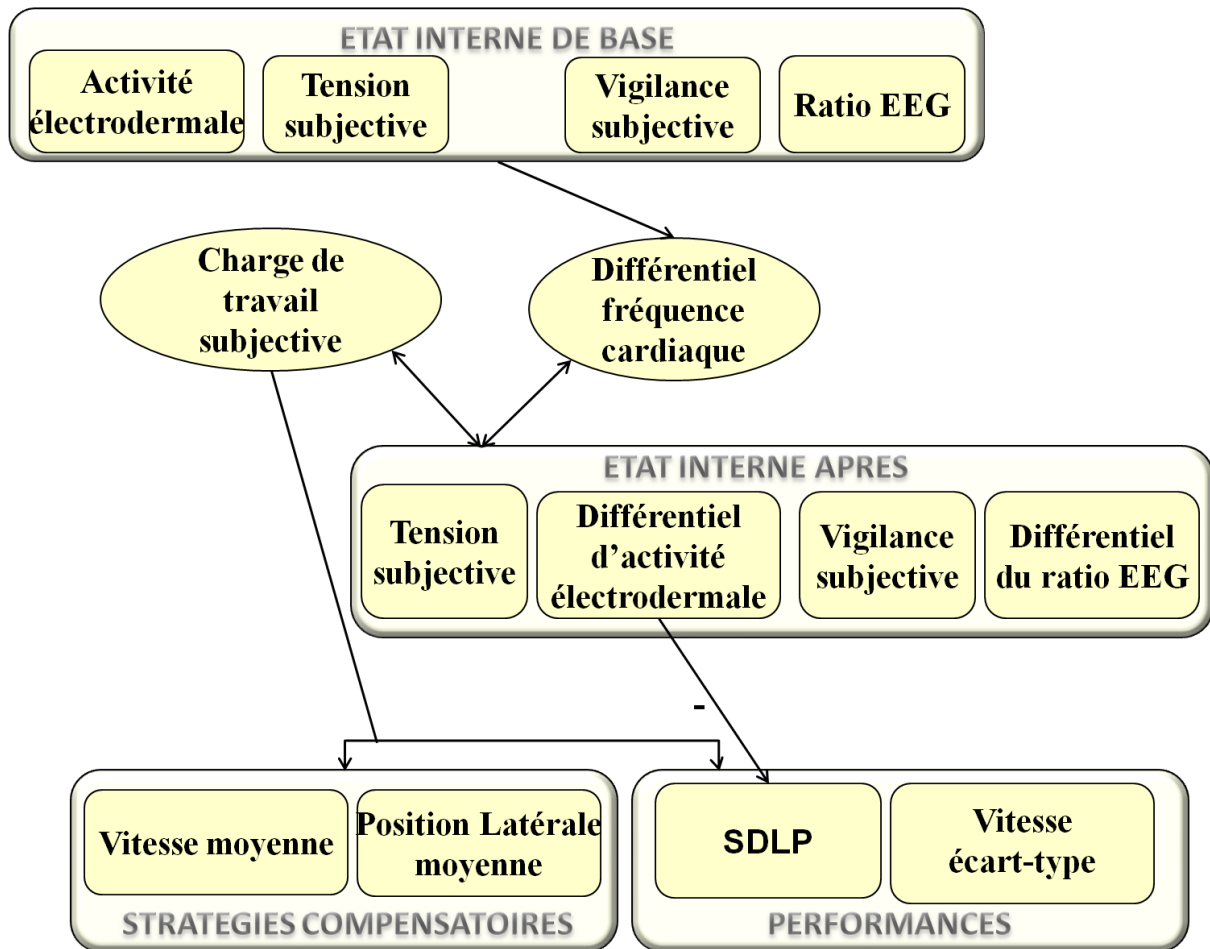
5.1. Portions sans piétons

Malgré des niveaux physiologiques de charge de travail, de tension et de vigilance durant les situations de conduite plus élevés pour les conducteurs novices, la perception de ces dimensions est identique pour les deux groupes (novices et plus expérimentés), montrant une sous-estimation par les novices de leur état interne et de l'effort fourni pour réaliser la tâche. Ainsi l'expérience de conduite semble avoir permis aux conducteurs d'acquérir une meilleure conscience de la situation et de leur état interne (McKenna, 1993).

Nous observons dans cette étude une régulation mutuelle des états de vigilance et de tension et de la charge de travail (Galy, 2013). Ainsi, en fonction du niveau de vigilance et de tension des conducteurs avant le début de la tâche de conduite, la charge de travail sera plus ou moins importante (Galy, Cariou, & Mélan, 2012). En particulier, une vigilance faible associée à une tension élevée entraîne une charge de travail élevée, démontrant la compensation d'un faible niveau de vigilance par une augmentation de la tension telle que décrite dans le modèle de Thayer (1986). Le niveau d'activation nerveuse est maintenu, et permet à l'organisme de disposer des ressources nécessaires à l'exécution de la tâche. Cette mobilisation des ressources se manifeste par une augmentation de la fréquence cardiaque différentielle rendant compte d'une charge de travail importante. En retour, la charge de travail influence les niveaux de vigilance et de tension (Galy & Gaudin, 2014). L'effet de la charge de travail dans ce cas-là est fonction de la complexité de la situation. Ainsi, la charge de travail a un effet plus important sur l'état interne des conducteurs lorsque la situation est complexe.

Toutes dimensions permettent ensuite d'expliquer les performances des conducteurs en fonction de la complexité de la situation à laquelle ils sont confrontés et de leur expérience de la conduite (voir Figure 138). Une charge de travail élevée dégradait les performances de

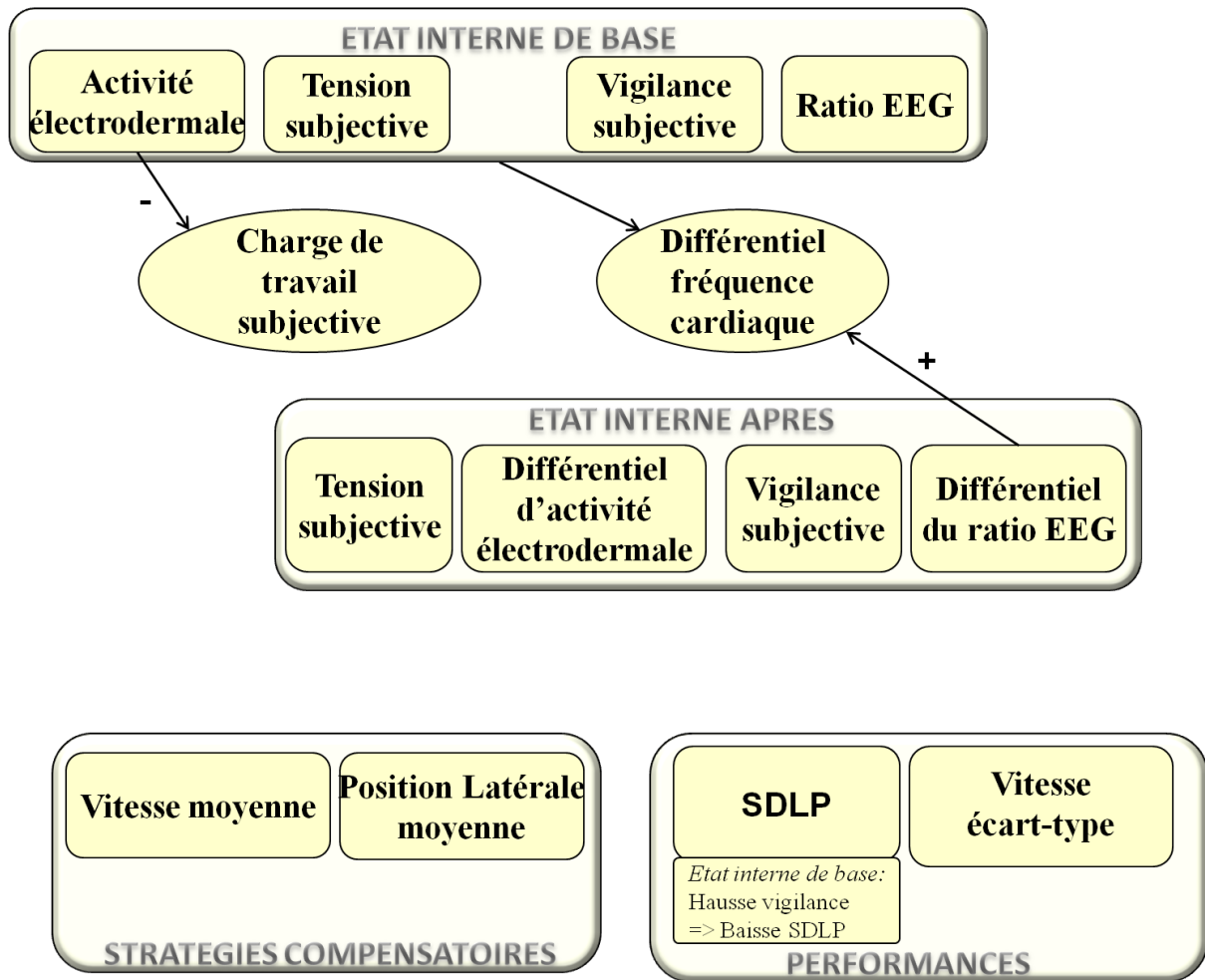
conduite. Ainsi, avec une charge de travail plus élevée dans les situations complexes, les novices roulaient plus vite et perdaient plus fréquemment le contrôle latéral du véhicule. Dans ces cas-là les conducteurs novices, contrairement aux conducteurs plus expérimentés, se retrouvaient donc en surcharge de travail. Cependant cet effet peut être modulé par l'état interne du conducteur. Une tension élevée, en particulier, améliore le contrôle latéral du véhicule malgré une vitesse élevée.



Notes : - : effet négatif.

Figure 138. Modèle obtenu pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, des différences sont observées par rapport aux conducteurs novices (voir Figure 139). Ainsi, la régulation de la charge de travail physiologique par les niveaux de tension et de vigilance est toujours présente mais différente. En effet, une charge de travail élevée était observée pour ce groupe avec une tension faible et une vigilance élevée. Ainsi, un niveau de vigilance élevé permettait à l'organisme d'avoir à disposition les ressources énergétiques nécessaires à l'exécution de la tâche dont la mobilisation se manifestait par une augmentation de la fréquence cardiaque différentielle encore une fois. Par conséquent, que le niveau d'activation nerveuse soit dû à un éveil tendu ou énergétique (tension ou vigilance ; Thayer, 1986), il permettait de mobiliser les ressources nécessaires à la tâche de conduite. De la même manière que pour les novices, une charge de travail élevée dégradait les performances en diminuant le contrôle de la vitesse et de la position latérale du véhicule sur la voie. Cependant le contrôle latéral était meilleur lorsque le niveau de vigilance était élevé, démontrant une modulation de l'effet de la charge de travail sur les performances par la vigilance chez les conducteurs les plus expérimentés. Ce maintien des performances lorsque la vigilance est élevée peut s'expliquer par la mise en œuvre de stratégies de régulation de la conduite, mobilisant une charge de travail supplémentaire (charge de travail essentielle ; Galy, Cariou, & Mélan, 2012). Ces stratégies de régulation ne peuvent être réalisées que par des personnes ayant déjà une certaine expérience de la conduite et lorsque les ressources cognitives sont suffisantes, c'est-à-dire dans cette étude chez les conducteurs à la fin du permis probatoire et lorsque le niveau de vigilance est élevé.



Notes : + : effet positif ; - : effet négatif.

Figure 139. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire à partir des différences avec les novices.

5.2. Portions avec piétons

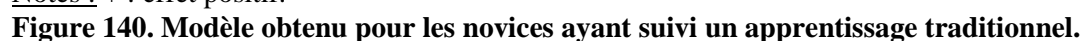
De manière générale, le niveau subjectif de tension après chaque situation, les niveaux physiologiques de tension face aux piétons, de vigilance et de charge durant les situations de conduite, ainsi que le nombre de collisions étaient plus élevés pour les novices que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire. Il est donc intéressant de voir si ces niveaux élevés de tension, de vigilance et de charge étaient à l'origine du nombre important de collisions avec les piétons constaté chez les novices.

Par ailleurs, pour les deux groupes, l'amplitude des réponses électrodermales face aux piétons était plus élevée en situation très complexe qu'en situation simple. La complexité de la situation était donc bien à l'origine d'une tension particulièrement élevée face aux piétons.

De la même manière que lors des portions sans piétons, durant les portions avec piétons, une régulation mutuelle des états de vigilance et de tension et de la charge de travail (Galy, 2013) était observée pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel (voir Figure 140). Ainsi, avant de débiter la tâche de conduite, un niveau d'activation interne caractérisé par une forte dépense énergétique (tension élevée et vigilance faible) entraînait une charge de travail subjective élevée lors de l'apparition des piétons, comme le modèle de Thayer (1986) le prédit. Ce niveau d'activation élevé durant la tâche de conduite augmentait le différentiel de fréquence cardiaque caractérisant la charge de travail durant l'ensemble des situations. Cependant, cette charge de travail n'était perçue réellement élevée que lorsque la situation était très complexe. En retour, l'effet de la charge de travail avait un effet sur l'état interne des conducteurs en fonction de la complexité de la situation. Ainsi, la charge de travail influençait davantage l'état interne des conducteurs en situation simple, avec un faible niveau de tension qui compensait un niveau élevé de vigilance.

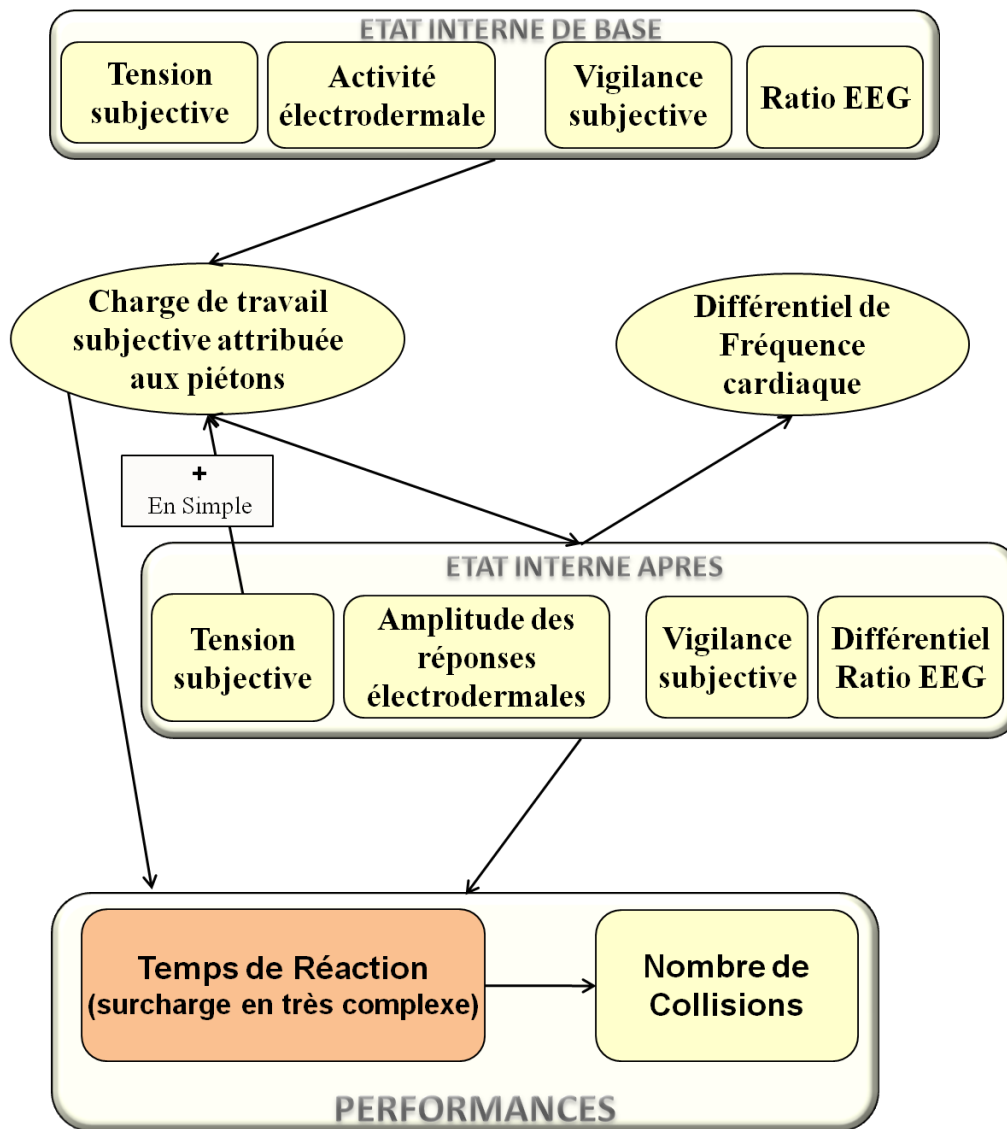
La charge de travail subjective dégradait les performances de conduite, souvent à cause d'un état interne après la passation caractérisé par un niveau élevé de tension et un faible niveau de vigilance. Le nombre de collisions avec les piétons augmentait particulièrement en situation moyennement complexe, révélant une surcharge de travail. Cette dernière s'explique par une amplitude élevée des réponses électrodermales face aux piétons reflétant un niveau de tension qui allongeait les temps de réaction dans cette situation. Ceci confirme donc que les novices n'adoptaient pas un comportement efficace avec des temps de réponse longs face au danger

Notes : + : effet positif.



Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, quelques particularités s'observaient par rapport aux conducteurs novices (voir figure 141). En effet, la régulation de la charge de travail s'effectuait différemment en fonction du niveau interne des conducteurs et de la complexité de la situation. Ainsi, une charge de travail élevée en situation simple était provoquée par une tension élevée, permettant d'éviter les baisses de vigilance fréquentes dans des situations de conduite monotones. De plus, un niveau de vigilance élevé permettait une mobilisation des ressources énergétiques manifestée par une augmentation de la fréquence cardiaque différentielle.

A la différence des novices, une surcharge de travail apparaissait pour les conducteurs à la fin du permis probatoire en situation très complexe, avec une hausse de charge de travail subjective entraînant une dégradation des performances (allongement des temps de réaction). Leurs temps de réaction étaient en effet très élevés en situation très complexe, pouvant s'expliquer par une automatisation de la tâche de conduite les rendant incapable d'être suffisamment flexible pour rapidement éviter les piétons (Besnard & Cacitti, 2001). Néanmoins, le nombre de collisions n'était pas davantage élevé dans cette situation, ce qui peut être expliqué par la mise en œuvre d'un freinage certes coûteux mais efficace pour éviter les piétons.



Notes : + : effet positif.

Figure 141. Modèle obtenu pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.

DISCUSSION GENERALE

L'objectif de la thèse était d'identifier les liens entre des facteurs potentiellement accidentogènes, avec uniquement des données subjectives dans un premier temps, puis en comparant des données subjectives à des données physiologiques dans un second temps. A partir de l'analyse des données recensées durant des portions de route sans évènement dangereux et durant des portions de route avec la traversée soudaine d'un piéton, différents profils de conducteurs ont été identifiés.

Différents profils de conducteurs

Globalement, conformément à nos attentes, un niveau d'activation interne de base élevé avec une dépense énergétique importante (une faible vigilance compensée par une tension élevée) entraînait un niveau d'activation interne élevé après les situations de conduite.

Durant les portions sans piétons, pour l'ensemble des novices (ayant suivi un apprentissage traditionnel ou anticipé de la conduite), un état interne élevé en situation très complexe menait à une charge de travail élevée, qui en retour provoquait un état interne élevé, tel que décrit dans le modèle d'activation de Thayer (1986). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel, les mêmes régulations étaient observées au niveau physiologique malgré une sous-estimation de la charge de travail, tension et vigilance. Ceci pourrait expliquer qu'en situation très complexe, ils augmentaient leur vitesse malgré un niveau physiologique de charge de travail élevé, provoquant ainsi une dégradation des performances. Pour les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite, ces effets sont observés également en situation moyennement complexe, les conducteurs sous-estimant probablement la difficulté de la tâche et surestimant leurs capacités (voir biais d'optimisme, McKenna, 1993). Pour l'ensemble des novices, des stratégies compensatoires (réduction de la vitesse et positionnement du véhicule vers le milieu de voie) à la charge de travail élevée leur permettaient de maintenir de bonnes performances malgré la complexité de la situation. Cependant, des performances dégradées pouvaient apparaître dans le cas d'une situation simple, les conducteurs sous-estimant probablement les effets délétères de la monotonie de la tâche en n'adoptant aucune stratégie compensatoire.

A partir de trois années d'expérience (conducteurs à la fin du permis probatoire et conducteurs expérimentés), un niveau d'activation interne élevée, avec cette fois-ci une vigilance élevée et une faible tension, permettait aux conducteurs d'avoir un faible niveau de charge de travail, notamment en situations simple et moyennement complexe, même si on

assistait à une élévation du niveau d'activation interne au cours de la conduite. Ceci était particulièrement vrai pour les conducteurs à la fin du permis probatoire qui avaient une bonne estimation de leur état interne (charge de travail, tension, vigilance). Un niveau physiologique de charge de travail élevé leur permettait ainsi de garder le contrôle du véhicule, grâce à une mobilisation de charge de travail supplémentaire (charge essentielle ; Galy, Cariou, & Mélan, 2012). Pour l'ensemble des conducteurs ayant un minimum de trois années d'expérience, malgré l'effort investi dans la tâche de conduite en situation simple et monotone, ces conducteurs pourtant expérimentés perdaient le contrôle de leur vitesse et n'adoptaient aucune stratégie compensatoire. Par contre, lorsque la situation devait complexe, des stratégies compensatoires étaient mises en œuvre et s'avéraient efficaces. A partir de cinq années d'expérience, la seule chose qui différenciait ces conducteurs des moins expérimentés était une tension particulièrement élevée dans la situation de conduite la plus complexe, reflétant certainement une conscience accrue du danger.

Lors de la réponse à un événement imprévu et soudain (traversée des piétons), les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel de la conduite étaient caractérisés par un niveau d'activation interne élevé (une faible vigilance compensée par une tension élevée) qui provoquait une charge de travail élevée lors de l'évitement des piétons, en particulier en situation très complexe, qui en retour influençait l'état interne. Il en était de même concernant les régulations mutuelles de ces variables au niveau physiologique. Nous n'observions cependant pas de dégradation des performances, signe de surcharge, car ils adoptaient que très peu la stratégie de freinage, stratégie la moins efficace. Cependant, en situation moyennement complexe, une dégradation des performances due à une charge de travail élevée révélait une surcharge de travail dans cette condition. Ceci était dû à la mise en œuvre de la stratégie « combinaison » (freinage-écart) qui était certes la moins coûteuse mais également peu efficace, et à un niveau de tension élevé, responsable de l'allongement des temps de réaction.

Pour les novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite, et dans le cas de situations très complexes, des niveaux de base de tension et de vigilance élevés favorisaient une augmentation de la charge de travail, qui en retour, et contrairement à ce qui est observé pour d'autres types de conducteurs, entraînait une diminution de la tension et de la vigilance, et une diminution des temps de réaction. Ceci étant, un nombre élevé de collisions avec les piétons était cependant obtenu, probablement à cause de la mise en œuvre de la stratégie de freinage qui s'est révélée inefficace.

A partir de trois années de conduite (conducteurs à la fin du permis probatoire et conducteurs expérimentés), lorsque la situation de conduite était simple, un niveau élevé de vigilance associé à un faible niveau de tension provoquait une charge de travail relativement faible, qui en retour permettait de maintenir un niveau élevé de vigilance. De plus, pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, une vigilance élevée était associée à une fréquence cardiaque différentielle élevée caractérisant une mobilisation importante des ressources énergétiques pour exécuter la tâche. Un niveau élevé de charge de travail détériorait cependant les performances (allongement des temps de réaction) en situation très complexe. Cette dégradation était rattrapée par la mise en œuvre d'une stratégie d'évitement efficace et n'était donc pas associée à un nombre de collisions important. Pour l'ensemble des conducteurs ayant un minimum de trois années d'expérience, le niveau de charge de travail n'était cependant pas suffisamment élevé pour réagir rapidement, provoquant malgré tout un faible nombre de collisions avec les piétons grâce à la mise en œuvre de réactions anticipés et d'écarts efficaces pour éviter les piétons. A partir de trois années d'expérience, les conducteurs n'apparaissaient donc pas suffisamment flexibles pour réagir rapidement face aux piétons, les étapes de conduite étant trop automatisées (Besnard & Cacitti, 2001).

Limites

Les expérimentations menées dans cette thèse présentent quelques limites.

En effet, différents profils de conducteurs ont donc été identifiés en fonction de leur niveau d'expérience et de leur type d'apprentissage. Cependant, ces profils doivent être nuancés en fonction des autres caractéristiques intra-individuelles pouvant influencer les comportements de conduite, comme la recherche de sensation (Jonah, Thiessen, & Au-Yeung, 2001), et des caractéristiques inter-individuelles, comme les différences de genre et l'adhésion à un stéréotype plutôt masculin ou féminin (Guého, Granié, & Abric, 2012; Özkan & Lajunen, 2005).

De plus, les méthodes de laboratoire permettent de contrôler les facteurs environnementaux mais les performances de conduite peuvent être différentes par rapport aux conditions réelles dans la mesure où les participants savent qu'un comportement dangereux n'entraîne aucune conséquence. Ainsi, des comportements de conduite passive peuvent être observés sur simulateur, ne reflétant pas les comportements sur route réelle (e.g., De Waard, 1999 ; in Cottrell & Barton, 2012). Le concept de présence utilisé dès les années 1980, i.e. propension des individus à adopter des patterns comportementaux analogues à ceux observés

dans la réalité (Slater, Lotto, Arnold, & Sánchez-Vives, 2009), est donc important afin de tenter d'évaluer la validité écologique des environnements virtuels. Les critères de validité admis dans la littérature (Blaauw, 1982) n'ont pas été vérifiés pour les expérimentations présentées dans cette thèse, remettant ainsi en question la valeur prédictive des résultats. Néanmoins, une des rares études menée sur simulateur de conduite ces dix dernières années a montré la difficulté de trouver des indicateurs objectifs de la validité au travers de ce concept de présence (Deniaud, Honnet, Jeanne, & Mestre, 2014).

Par ailleurs, les participants conduisaient sans avoir à changer les rapports de vitesse dans la première expérimentation tandis qu'ils devaient les changer dans la deuxième expérimentation, augmentant ainsi probablement la difficulté de la tâche, mais tout en se rapprochant du comportement adopté en conduite réelle.

Perspectives

Aux vues des résultats obtenus, des actions de sensibilisation (e.g., prévention routière) pourraient être menées afin de faire prendre conscience des dangers de la route aux jeunes conducteurs novices, mais également aux plus expérimentés afin qu'ils soient davantage flexibles face à l'imprévu. Des modules de formation à la conduite pourraient également être davantage ciblés sur la gestion de situations complexes, notamment pour abaisser les niveaux de charge de travail et de tension et pour augmenter le niveau de vigilance. Des stratégies d'auto-régulation de la tension face au danger pourraient également permettre de mieux appréhender les événements anxiogènes (Rowden et al., 2011), en faisant prendre conscience aux conducteurs des risques engendrés par une tension trop élevée. De plus, des systèmes d'aide à la conduite pourraient identifier un niveau interne ainsi qu'un niveau de charge de travail des conducteurs devenant dangereux pour leur conduite, et pourraient ainsi leur conseiller de réduire leur vitesse pour retrouver une régulation de leur état optimale pour la conduite.

Bibliographie

- Aahsberg, E., 1998. Perceived Fatigue Related to Work. University of Stockholm, Department of Psychology, Sweden, ISBN 91-7153-830-5.
- Adams, L. D. (1994). Review of the literature on obstacle avoidance maneuvers: braking versus steering.
- Åkerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37.
- Amditis, A., Andreone, L., Pagle, K., Markkula, G., Deregibus, E., Rue, M. R., Bellotti, F., Engelsberg, A., Brouwer, R., Peters, B., & De Gloria, A. (2010). Towards the Automotive HMI of the Future: Overview of the AIDE-Integrated Project Results. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(3), 567–578.
- Arend, I., Colom, R., Botella, J., Contreras, M. J., Rubio, V. & Santacreu, J. (2003). Quantifying cognitive complexity : evidence from a reasoning task. *Personality and Individual Differences*, 35(3), 659-669.
- Atchley, P., & Chan, M. (2011). Potential Benefits and Costs of Concurrent Task Engagement to Maintain Vigilance: A Driving Simulator Investigation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(1), 3-12.
- Ba, Y. & Zhang, W. (2011). A Review of Driver Mental Workload in Driver-Vehicle-Environment System. In *Internationalization, Design and Global Development* (pp. 125-134). Springer Berlin Heidelberg.
- Baldauf, D., Burgard, E., & Wittmann, M. (2009). Time perception as a workload measure in simulated car driving. *Applied Ergonomics*, 40(5), 929-935.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The Exercise of Control*. W.H. Freeman, New York.
- Beck, A. T., Epstein, N., Brown, G., & Steer, R. A. (1988). An inventory for measuring clinical anxiety: psychometric properties. *Journal of consulting and clinical psychology*, 56(6), 893.
- Begg, D., & Stephenson, S. (2003). Graduated driver licensing: the New Zealand experience. *Journal of Safety Research*, 34(1), 99–105.
- Besnard, D., & Cacitti, L. (2001). Troubleshooting in mechanics: A heuristic matching process. *Cognition, Technology & Work*, 3(3), 150-160.
- Blaauw, G. J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 24(4), 473-486.
- Bond, A., & Lader, M. (1974). The use of analogue scales in rating subjective feelings. *British Journal of Medical Psychology*, 47(3), 211-218.
- Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2012). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, InPress.
- Borowsky, A., Shinar, D., & Oron-Gilad, T. (2007). Age, skill and hazard perception in driving. In *Proceedings of the 4th international driving symposium on human factors in driver assessment, training, and vehicle design* July 9–12. Iowa City: Public Policy Center, University of Iowa.
- Braithwaite, J. J., Watson, D. G., Jones, R., & Rowe, M. (2013). A Guide for Analysing Electrodermal Activity (EDA) & Skin Conductance Responses (SCRs) for Psychological Experiments. *Psychophysiology*, 49, 1017-1034.
- Brookhuis, K. A., De Vries, G., & De Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 23, 309-316.
- Brookhuis, K. A., & De Waard, D. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 898-903.
- Brookhuis, K.A., De Waard, D., Kraaij, J.H., & Bekiaris, E. (2003). How important is driver fatigue and what can we do about it? In D. De Waard, K.A. Brookhuis, S.M. Sommer, & W.B. Verwey (Eds.), *Human Factors in the Age of Virtual Reality* (pp. 191–207). Maastricht: Shaker Publishing.

- Brookhuis, K.A., Van Driel, C.J.G., Hof, T., Van Arem, B., & Hoedemaeker, M. (2008). Driving with a congestion assistant; mental workload and acceptance. *Applied Ergonomics*, 40(6), 1019-1025.
- Brown, I. D. (1994). Driver fatigue. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 36(2), 298-314.
- Bruyas, M.P. (2011). Impact de l'usage du téléphone sur l'activité de conduite, Téléphone et sécurité routière, Coll. Expertise collective, INSERM, 35-57.
- Cai, H., & Lin, Y. (2011). Modeling of operators' emotion and task performance in a virtual driving environment. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(9), 571-586.
- Campagne, A., Pebayle, T., & Muzet, A. (2004). Correlation between driving errors and vigilance level: influence of the driver's age. *Physiology & Behavior*, 80(4), 515-524.
- Cavallo, V., Brun-Dei, M., Laya, O. & Neboit, M. (1988). Perception and anticipation in negotiating curves: the role of driving experience. In *Vision in vehicles, II. Second International Conference on Vision in Vehicles*, 365-374.
- Cegarra, J., & Chevalier, A. (2008). The use of tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements. *Behaviour Research Methods*, 40, 988-1000.
- Cegarra, J., & van Wezel, W. (2012). Revisiting Decision Support Systems for Cognitive Readiness A Contribution to Unstructured and Complex Scheduling Situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 6(3), 299-324.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive. Théorie et applications*. Paris : Armand Colin.
- Chapon, A., & Gabaude, C. (2009). *DACOTA: Défauts d'attention et conduite automobile*. Rapport final détaillé, Convention ANR-05-PDIT-004 PREDIT Go4 : Technologies pour la sécurité, INRETS; PREDIT, 172 p.
- Chida, Y., & Steptoe, A. (2009). Cortisol awakening response and psychosocial factors: a systematic review and meta-analysis. *Biological Psychology*, 80(3), 265-278.
- Chiron, M., Bernard, M., Lafont, S., & Lagarde, E. (2008). Tiring job and work related injury road crashes in the GAZEL cohort. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1096-1104.
- Clapp, J. D., Olsen, S. A., Beck, J. G., Palyo, S. A., Grant, D. M., Gudmundsdottir, B., & Marques, L. (2011). The Driving Behavior Survey: scale construction and validation. *Journal of anxiety disorders*, 25(1), 96-105.
- Clapp, J. D., Olsen, S. A., Danoff-Burg, S., Hagewood, J. H., Hickling, E. J., Hwang, V. & Beck, J. G. (2011). Factors contributing to anxious driving behavior: The role of stress history and accident severity. *Journal of Anxiety Disorders*, 25(4), 592-598.
- Clarion, A. (2009). *Recherche d'indicateurs électrodermaux pour l'analyse de la charge mentale en conduite automobile* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).
- Cnossen, F., Rothengatter, T., & Meijman, T. (2000). Strategic changes in task performance in simulated car driving as an adaptive response to task demands. *Transportation Research Part F*, 3(3), 123-140.
- Collet, C., Clarion, A., Morel, M., Chapon, A., & Petit, C. (2009). Physiological and behavior changes associated to the management of secondary tasks while driving. *Applied Ergonomics*, 40(6), 1041-1046.
- Collet, C., Petit, C., Priez, A., & Dittmar, A. (2005). Stroop color-word test, arousal, electrodermal activity and performance in a critical driving situation. *Biological psychology*, 69(2), 195-203.
- Connor, J., Norton, R., Ameratunga, S., Robinson, E., Civil, I., Dunn, R., ... & Jackson, R. (2002). Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study. *Bmj*, 324(7346), 1125.
- Cottrell, N. D., & Barton, B. K. (2012). The impact of artificial vehicle sounds for pedestrians on driver stress. *Ergonomics*, 55(12), 1476-1486.
- Critchley, H.D., Elliott, R., Mathias, C.J., & Dolan, R.J. (2000). Neural activity relating to generation and representation of galvanic skin conductance responses: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 20(8), 3033-3040.

- Crundall, D.E. & Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition of drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448-458.
- Damm, L., Nachtergaële, C., Meskali, M., & Berthelon, C. (2011). The evaluation of traditional and early driving learning with simulated accident scenarios. *Human factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(4), 323-337.
- De Craen, S., Twisk, D. A. M., Hagenzieker, M. P., Elffers, H., & Brookhuis, K. A. (2008). The development of a method to measure speed adaptation to traffic complexity: Identifying novice, unsafe, and overconfident drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1524-1530.
- Deniaud, C., Mestre, D., Honnet, V., & Jeanne, B. (2014, September). The concept of presence used as a measure for ecological validity in driving simulators. In *Proceedings of the 2014 European Conference on Cognitive Ergonomics* (p. 7). ACM.
- Derakshan, N., & Eysenck, M. W. (2009). Anxiety, processing efficiency, and cognitive performance. New developments from attentional control theory. *European Psychologist*, 14(2), 168-176.
- De Waard, D. (1991). Driving behavior on a high-accident-rate motorway in the Netherlands. In C. Weikert, K.A. Brookhuis, & S. Ovinus (Eds.), *Man in complex systems*, Proceedings of the Europe Chapter of the Human Factors Society Annual Meeting. Work Science Bulletin 7 (pp 113-123). Lund, Sweden: Work Science Division, Department of Psychology, Lund University.
- De Waard, D. (1996). The measurement of drivers' mental workload. *Traffic Research Center, Thesis*, 127 p.
- De Waard, D., Brookhuis, K.A. (1997). On the measurement of driver mental workload. In: Rothengatter, J.A., Carbonell Vaya, E. (Eds.), *Traffic and Transport Psychology. Theory and Application*. Pergamon, Oxford, pp. 161-171.
- De Waard, D., Brookhuis, K. A., & Hernandez-Gress, N. (2001). The feasibility of detecting phone-use related driver distraction. *International Journal of Vehicle Design*, 26(1), 85-95.
- De Waard, D., Dijksterhuis, C., & Brookhuis, K.A. (2009). Merging into heavy motorway traffic by young and elderly drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 41(1), 588-597.
- De Waard, D., Jessurum, M., Steyvers, F. J. J. M., Raggatt, P. T. F., & Brookhuis, K. A. (1995). Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation. *Ergonomics*, 38, 1395-1407.
- De Waard, D., Kruizinga, A., & Brookhuis, K. A. (2008). The consequences of an increase in heavy goods vehicles for passenger car drivers' mental workload and behaviour: a simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 40(2), 818-828.
- De Waard, D., Van der Hulst, M., & Brookhuis, K. A. (1999). Elderly and young driver's reaction to an in-car enforcement and tutoring system. *Applied ergonomics*, 30(2), 147-157.
- Dijksterhuis, C., Brookhuis, K.A., & De Waard, D. (2011). Effects of steering demand on lane keeping behaviour, self-reports, and physiology. *Accident Analysis and Prevention*. 43(3), 1074-1081.
- Di Stasi, L. L., Álvarez-Valbuena, V., Cañas, J. J., Maldonado, A., Catena, A., Antolí, Adoración, A., & Candido, A. (2009). Risk behavior and mental workload: Multimodal assessment techniques applied to motorbike riding simulation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(5), 361-370.
- Di Stasi, L. L., Antoli, A., & Cañas, J. J. (2011). Main sequence : An index for detecting mental workload variation in complex tasks. *Applied Ergonomics*, 42(6), 807-813.
- Di Stasi, L. L., Renner, R., Staehr, P., Helmert, J. R., Velichkovsky, B. M., Cañas, J. J., Catena, A., & Pannasch, S. (2010). Saccadic peak velocity sensitivity to variations in mental workload. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 81(4), 413-417.
- Di Stasi, L. L., Renner, R., Catena, A., Cañas, J. J., Velichkovsky, B. M., & Pannasch, S. (2012). Towards a driver fatigue test based on the saccadic main sequence: A partial validation by subjective report data. *Transportation research part C: emerging technologies*, 21(1), 122-133.
- Dorn, L., & Barker, D. (2005). The effects of driver training on simulated driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 37(1), 63-69.

- Dula, C. S., Adams, C. L., Miesner, M. T., & Leonard, R. L. (2010). Examining relationships between anxiety and dangerous driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 2050–2056.
- Duta, M., Alford, C., Wilson, S., & Tarassenko, L. (2004). Neural network analysis of the mastoid EEG for the assessment of vigilance. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 17(2), 171–195.
- Engströme, I., Gregersen, N. P., Hernetkoski, K., Keskinen, E., & Nyberg, A. (2003). Young novice drivers, driver education and training (VTI Rapport 491A). *Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping*.
- Eoh, H. J., Chung, M. K., & Kim, S. H. (2005). Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(4), 307–320.
- Espié, S., Gauriat, P., & Duraz, M. Driving simulators validation: The issue of transferability of results acquired on simulator. In *National Advanced Driving Simulator, University of Iowa (Eds) Proc. Driving Simulation Conference DSC North-America'2005*, november 30th - october 2nd, Orlando, FL., Center for Advanced Transportation Systems Simulation (2005), 149–156.
- Eysenck, M. W. (1982). *Attention and Arousal. Cognition and Performance*. Berlin: Springer Verlag.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and Performance: The Processing Efficiency Theory. *Cognition and emotion*, 6(6), 409–434.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and Cognitive Performance: Attentional Control Theory. *Emotion*, 7(2), 336–353.
- Fairclough, S. H., Tattersall, A. J., & Houston K. (2006). Anxiety and performance in the British driving test. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(1), 43–52.
- Falzon, P., & Sauvagnac, C. (2004). Charge de travail et stress. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 175–190). Paris: Presses Universitaires de France.
- Fastenmeier, W. (1995). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem [The road traffic situation as analysis unit in the road traffic system]. In W. Fastenmeier (Ed.), *Autofahrer und Verkehrssituation Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (pp. 27–78). Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45(9), 952–979.
- Filtiness, A. J., Reyner, L. A., & Horne, J. A. (2012). Driver sleepiness—Comparisons between young and older men during a monotonous afternoon simulated drive. *Biological psychology*, 89(3), 580–583.
- Fishbein, M. & Ajzen, I. *Belief, attitude, intention and behaviour*. Reading, M.A. Addison-Wesley, 1975.
- Fréard, D., Jamet, E., Le Bohec, O., Poulain, G. & Botherel, V. (2007). Subjective Measurement of Workload Related to a Multimodal Interaction Task: NASA-TLX vs. Workload Profile. *Human-Computer Interaction*, 4552, 60–69.
- Freydier, C. (2014). *Attention divisée en simulation de conduite automobile. Influence de l'expérience et Impact de l'alcool* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille Université).
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 461–472.
- Gabaude, C., Bacarat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., & Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In Human Factors: a view from an integrative perspective, on the occasion of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting in Toulouse, France, October 2012. In D. De Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.).
- Gaillard, A.W.K. (1993). Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, 36, 991–1005.
- Galy, E. (2013). *Temps de travail pour tant de travail*. Document de synthèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Aix-Marseille Université: Aix-en-Provence.
- Galy, E., Cariou, M., & Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychophysiology*, 83(3), 269–275.

- Galy, E. & Gaudin, C. (2014). Vigilance et tension : effet de l'organisation du travail et de la perception de la situation de travail. *Le Travail Humain*, 77(4), 301-323.
- Gershon, P., Ronen, A., Oron-Gilad, T., & Shinar, D. (2009). The effects of an interactive cognitive task (ICT) in suppressing fatigue symptoms in driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 12(1), 21-28.
- Grau, J. Y., & Amalberti, R. (1995). Les erreurs d'attention en pilotage d'avion. Un problème différent des pertes de vigilance. In M. Vallet & S. Khaldi (Eds.), *Vigilance et transports*, Lyon : Presses Universitaires de Lyon.
- Gray, J. A., & McNaughton, N. (2000). *The neuropsychology of anxiety*. New York: Oxford University Press.
- Gregersen, N. P., Berg, H. Y., Engstrom, I., Nolen, S., Anders, N., & Per-Arne, R. (2000). Sixteen years age limit for learner drivers in Sweden: An evaluation of safety effects. *Accident Analysis & Prevention*, 32, 25-35.
- Guého, L., Granié, M. A., & Abric, J. C. (2012, september). Effet de l'âge, du sexe et de l'identité de genre sur les comportements à risque routiers. *Actes du 54ème congrès de la Société Française de Psychologie*, 124, 152.
- Hadj-Mabrouk, A., Hadj-Mabrouk, H., & Dogui, M. (2001). Chronobiologie de la vigilance Approche d'application dans le domaine de la sécurité routière. *Recherche-Transports-Sécurité*, 73, 3-26.
- Hancock, P. A., & Warm, J. S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, 31, 519-537.
- Hart, S. G., & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Emperical and Theoretical Research. *Advances in Psychology*, 52, 139-183.
- Helton, W. S. (2004, September). Validation of a short stress state questionnaire. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 48, No. 11, pp. 1238-1242). SAGE Publications.
- Helton, W. S., & Garland, G. (2006, October). Short stress state questionnaire: Relationships with reading comprehension and land navigation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 50, No. 17, pp. 1731-1735). SAGE Publications.
- Hill, J. D., & Boyle, L. N. (2007). Driver stress as influenced by maneuvers and roadway conditions. *Transportation Research Part F*, 10(3), 177-186.
- Hoc, J. M., & Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1(1), 22-55.
- Hockey, G. R. J. (1993). Cognitive-energetical control mechanisms in the management of work demands and psychological health. In A. D. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention, Selection, Awareness and Control: A Tribute to Donald Broadbent*. Oxford: Oxford University Press.
- Hockey, G. R. J. (1986). A state control theory of adaptation to stress and individual differences in stress management. In G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, & M. G. H. Coles (Eds.), *Energetics and human information processing* (pp. 285-298). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Hockey, G. R. J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45, 73-93.
- Hockey, G. R. J. (2003). Operator functional state in the analysis of complex performance. In G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, & A. Burov (Eds.), *Operator Functional State: The Assessment and Prediction of Human Performance Degradation in Complex Tasks* (pp. 3-7). New York: Plenum Press.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. C. (1973). Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431-436.
- Horberry, T., Anderson, J., & Regan, M.A. (2006). The possible safety benefits of enhanced road markings: A driving simulator evaluation. *Transportation Research Part F*, 9(1), 77-87.
- Horne, J. A., & Ostberg, O. (1975). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International journal of chronobiology*, 4(2), 97-110.
- Horne, J. A., & Reyner, L. A. (1995). Driver sleepiness. *Journal of sleep research*, 4(s2), 23-29.
- Hot, P., Naveteur, J., Leconte, P., & Sequeira, H. (1999). Diurnal variations of tonic electrodermal activity. *International Journal of Psychophysiology*, 33(3), 223-230.

- Humphreys, M. S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance : A theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review*, 91, 153-184.
- Jackson, C. J. (2009). Jackson-5 scales of revised Reinforcement Sensitivity Theory (r-RST) and their application to dysfunctional real world outcomes. *Journal of Research in Personality*, 43(4), 556-569.
- Jahn, G., Oehme, A., Krems, J. F., & Gelau, C. (2005). Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transportation Research Part F*, 8(3), 255-275.
- Jessurun, M., De Waard, D., Raggatt, P. T. F., Steyvers, F. J. J. M., & Brookhuis, K. A. (1993). *Implementatie van snelheidsbeperkende maatregelen op 80 km/uur wegen: effecten op rijgedrag, activatie en beleving (Implementation of speed-reducing measures on A-class roads: effects on driving performance, activation and appreciation)*. (Report VK 93-01). Haren, The Netherlands: Traffic Research Centre, University of Groningen.
- Jessurun, M., Steyvers, F. J. J. M., De Waard, D., Dekker, K., & Brookhuis, K. A. (1990). *Beleving, waarneming en activatie tijdens het rijden over een deel van de A2 (Appreciation, perception and activation while driving over a section of the A2 motorway)*. (Report VK 90-18). Haren, The Netherlands: Traffic Research Centre, University of Groningen.
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14(6), 540-545.
- Jonah, B. A., Thiessen, R., & Au-Yeung, E. (2001). Sensation seeking, risky driving and behavioral adaptation. *Accident Analysis & Prevention*, 33(5), 679-684.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kilpatrick, D. G. (1972). Differential responsiveness of two electrodermal indices to psychological stress and performance of a complex cognitive task. *Psychophysiology*, 9(2), 218-226.
- Kramer, A.F. (1991). Physiological metrics of mental workload: a review of recent progress. In D.L. Damos (Ed.). *Multiple-task performance* (pp. 279-328). London: Taylor and Francis.
- Krane, V. (1994). The mental readiness form as a measure of competitive state anxiety. *Sport Psychologist*, 8, 189-189.
- Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological psychology*, 55(3), 173-194.
- Larue, G. S., Rakotonirainy, A., & Pettitt, A. N. (2011). Driving performance impairments due to hypovigilance and monotonous roads. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 2037-2046.
- Lawler, K. (1980). Cardiovascular and electrodermal response rate patterns in heart rate reactive individuals during psychological stress. *Psychophysiology*, 17(5), 464-470.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer, New York.
- Lewis-Evans, B. & Rothengatter, T. (2009). Task difficulty, risk, effort and comfort in a simulated driving task – Implications for Risk Allostasis Theory. *Accident Analysis and Prevention*, 41(5), 1053-1063.
- Liu, B.S., & Lee, Y.H. (2006). In-vehicle workload assessment: Effects of traffic situations and cellular telephone use. *Journal of Safety Research*, 37(1), 99-105.
- Ljungberg, J. K., & Neely, G. (2007). Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 44-54.
- Maïano, C., Therme, P., & Mestre, D. (2011). Affective, anxiety and behavioral effects of an aversive stimulation during a simulated navigation task within a virtual environment: A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 169-175.
- Matthews, G., Desmond, P. A., Joyner, L., Carcary, B., & Gilliland, K. (1997). A Comprehensive Questionnaire Measure of Driver Stress and Affect. In J.A. Rothengatter and Enrique Carbonell Vaya (Eds), *Traffic and Transportation Psychology*. Oxford: Pergamon.
- Matthews, G., Dorn, L., Hoyes, T. W., Davies, D. R., Glendon, A. I., & Taylor, R. G. (1998). Driver stress and performance on a driving simulator. *Human Factors*, 40(1), 136-149.

- Matthews, G., Joyner, L., Gilliland, K., Campbell, S., Falconer, S., & Huggins, J. (1999). Validation of a comprehensive stress state questionnaire: Towards a state big three. *Personality psychology in Europe*, 7, 335-350.
- Mayhew, D.R. (2007). Driver education and graduated licensing in North America: Past, present, and future. *Journal of Safety Research*, 38(2), 229-235.
- Mayhew, D. R., & Simpson, H. M. (1996). *Effectiveness and role of driver education and training in a graduated licensing system*. Ottawa, Ontario: Traffic Injury Research Foundation.
- Mayhew, D.R., Simpson, H.M., & Pak, A. (2003). Changes in collision rates among novice drivers during the first months of driving. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 683-691.
- McKenna, F. P. (1993). It won't happen to me: unrealistic optimism or illusion of control? *British Journal of Psychology*, 84, 39-50.
- McKnight, A. J. (2003). Graduated driver licensing and safer driving. *Journal of Safety Research*, 34(1), 81- 85.
- McKnight, A. J. (2006). Content of driver education. Driver education: The path ahead. Transportation research circular, Vol. E-C101. Washington, DC: Transportation Research Board.
- McLaren, J. W., Erie, J. C., & Brubaker, R. F. (1992). Computerized analysis of pupillograms in studies of alertness. *Investigative ophthalmology & visual science*, 33(3), 671-676.
- Mehler, B., Reimer, B., & Wang, Y. (2011). A comparison of heart rate and heart variability indices in distinguishing single-task driving and driving under secondary cognitive workload. In *Proceedings of the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 590-597).
- Meister, D. (1976). *Behavioral foundations of system development*. New York: Wiley.
- Mélan, C. (2008). Sommeil et vigilance lors du travail à des horaires atypiques. *Revue Technique Luxembourgeoise*, 105-109.
- Meskali, M., Berthelon, C., Marie, S., Denise, P., & Bocca, M. L. (2009). Residual effects of hypnotic drugs in aging drivers submitted to simulated accident scenarios: an exploratory study. *Psychopharmacology*, 207(3), 461-467.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior & traffic safety* (pp. 485-524). New York: Plenum Press.
- Miller, M.W., Rietschel, J.C., McDonald, C.G., & Hatfield, B.D. (2011). A novel approach to the physiological measurement of mental workload. *International Journal of Psychophysiology*, 80(1), 75-78.
- Mitler, M. M., Carskadon, M.A., Czeisler, C. A., Dement, W. C., Dinges, D. F., & Graeber, R. C. (1988). Catastrophes, sleep and public policy. *Consensus Report. Sleep*, 11, 100-109.
- Monk, T. H. (1991). Circadian aspects of subjective sleepiness: A behavioural messenger? In Monk, T.H. (Ed.), *Sleep, sleepiness and performance* (pp. 39-64). New York: Wiley.
- Morton, R. D., & White, M. J. (2012). Revised reinforcement sensitivity theory: The impact of FFFS and stress on driving. *Personality and Individual Differences*, 54(1), 57-63.
- Nallet, N. (2009). *Profils de personnalité en lien avec les infractions et/ou les accidents de la route. Qui sont les stagiaires permis à points?* (Doctoral dissertation, Université Lumière-Lyon II).
- Nibbeling, N., Oudejans, R. R. D., & Daanen, H. A. M. (2012). Effects of anxiety, a cognitive secondary task, and expertise on gaze behavior and performance in a far aiming task. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(4), 427-435.
- Nickel, P., & Nachreiner, F. (2000). Psychometric properties of the 0.10 Hz component of HRV as an indicator of mental strain. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol.44, No.12, pp. 2-747). SAGE Publications.
- Nickel, P., & Nachreiner, F. (2003). Sensitivity and Diagnosticity of the 0.1-Hz Component of Heart Rate Variability as an indicator of mental workload. *Human Factors: the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 45(4), 575-590.

- OCDE – ECMT (2006). *Young drivers : The road to safety*. Paris: OCDE – Organisation for Economic Cooperation and Development et ECMT – European Conference of Ministers of Transport; Joint OCDE /ECMT Transport Research Centre.
- O’Hanlon, J. F., & Kelley, G. R. (1977). Comparison of performance and physiological changes between drivers who perform well and poorly during prolonged vehicular operation. In *Vigilance* (pp. 87-109). Springer US.
- Olar, L., & Deconde, G. (2004). Contiguïté spatiale et conservation à l’écran des lettres saisies lors d’une tâche de reconnaissance de l’écriture manuscrite sur pocket PC : effets sur la qualité ergonomique de l’interface. *10^e Journée JETCSIC*.
- ONISR (Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière) (2012). La sécurité routière en France. Bilan de l’année 2012. La documentation française, Paris, 112p.
- Oron-Gilad, T., Ronen, A., & Shinar, D. (2008). Alertness maintaining tasks (AMTs) while driving. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 851-860.
- Otmani, S., Rogé, J., & Muzet, A. (2005). Sleepiness in professional drivers: effect of age and time of day. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 930-937.
- Özkan, T., & Lajunen, T. (2005). Why are there sex differences in risky driving? The relationship between sex and gender-role on aggressive driving, traffic offences, and accident involvement among young Turkish drivers. *Aggressive Behavior*, 31(6), 547–558.
- Page, Y. Jeunes conducteurs, Apprentissage Anticipé de la Conduite et accidents de la route (document traduit en anglais). *Les cahiers de l’observatoire* (2), 15-55, 1995.
- Parsons, R., Tassinary, L. G., Ulrich, R. S., Hebl, M. R., & Grossman-Alexander, M. (1998). The view from the road: implications for stress recovery and immunization. *Journal of environmental psychology*, 18(2), 113-140.
- Patten, C. J. D., Kircher, A., Östlund, J., Nilsson, L., & Svenson, O. (2006). Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 887-894.
- Paubel, P-V. (2011). *Evaluation d’un système de résolution de conflits, ERASMUS. Apport de l’oculométrie comme mesure de la charge mentale chez les contrôleurs aériens en-route*. (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- Pauzié, A. (1994). A method to assess the driver mental workload: The Driving activity load index (DALI). *IET Intelligent Traffic Systems*, 2(4), 315-322.
- Philip, P., Sagaspe, P., Moore, N., Taillard, J., Charles, A., Guilleminault, C., & Bioulac, B. (2005). Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 473-478.
- Philip, P., Vervialle, F., Le Breton, P., Taillard, J., & Horne, J. A. (2001). Fatigue, alcohol, and serious road crashes in France: factorial study of national data. *Bmj*, 322(7290), 829-830.
- Preusser, D. F. (2006). The novice driver problem. Driver education: The path ahead. Transportation research circular, Vol. E-C101. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Rasmussen, J. (1984). *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*. New York: North-Holland.
- Reid, G.B., & Nygren, T.E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. *Human mental workload*, 185, 218.
- Reimer, B., Mehler, B., Coughlin, F.J., Roy, N., & Dusek, A.J. (2011). The impact of a naturalistic hands-free cellular phone task on heart rate and simulated driving performance in tow age groups. *Transportation Research Part F*, 14(1), 13-25.
- Richard, J. F. (1980). *L’attention*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Robert, G., & Hockey, J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychologie*, 45(1-3), 73-93.
- Rose, M. P., McGlynn, F. D., & Lazarte, A. (1995). Control and attention influence snake phobics' arousal and fear during laboratory confrontations with a caged snake. *Journal of anxiety disorders*, 9(4), 293-302.

- Rosey, F., & Auberlet, J. M. (2012). Trajectory variability: Road geometry difficulty indicator. *Safety Science*, 50(9), 1818-1828.
- Rosey, F., Chauvin, P., & Moisan, O. (juin, 2012). Expérimentations d'aménagements Tests terrain & Tests terrain-simu. *Séminaire I2V, Paris*.
- Rowden, P., Matthews, G., Watson, B., & Biggs, H. (2011). The relative impact of work-related stress; life stress and driving environment stress on driving outcomes. *Accident Analysis and Prevention*, 43(4), 1332-1340.
- Rubio, S., Díaz, E., Martin, J. & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload : A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology : an international Review*, 53(1), 61-86.
- Ryu, S. Y., Hirata, M., Sakihara, K., Kimura, K., Ebe, K., Yoshioka, M., ... & Yorifuji, S. (2007, June). Temporal dynamics of wakefulness during simulated driving. In *International Congress Series* (Vol. 1300, pp. 429-432). Elsevier.
- Ryu, K., & Myung, R. (2005). Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(11), 991-1009.
- Sagberg, F. (2002, October). *Driver education from the age of 16: Potential of an extended learning period and increased driving experience to reduce the crash of novice drivers. Experiences in Norway*. Paper presented at the Internationale Konferenz "Junge Fahrer und Fahrerinnen," Bremerhaven, Germany.
- Sagberg, F. & Bjørnskau, T. (2006). Hazard perception and driving experience among novice drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 38(2), 407-414.
- Santamaria, J., & Chiappa, K. H. (1987a). *The EEG of drowsiness*. New York: Demos Publications.
- Santamaria, J., & Chiappa, K. H. (1987b). The EEG of drowsiness in normal adults. *Journal of clinical Neurophysiology*, 4(4), 327-382.
- Sarason, I. G. (1988). Anxiety, self-preoccupation and attention. *Anxiety Research*, 1, 3-7.
- Schmidt-Daffy, M. (2012). Velocity safety : Impact of goal conflict and task difficulty on drivers' behaviour, feelings of anxiety, and electrodermal responses. *Transportation Research Part F*, 15(3), 319-332.
- Schmidt-Daffy, M. (2013). Fear and anxiety while driving : Differential impact of task demands, speed and motivation. *Transportation Research Part F*, 16, 14-28.
- Schneider, W., & Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1.
- Schroeder, S. R., & Holland, J. G. (1968). Operant control of eye movements during human vigilance. *Science*, 161, 292-293.
- Seiniger, P., Bartels, O., Pastor, C., & Wisch, M. (2013). An open simulation approach to identify chances and limitations for vulnerable road user (VRU) active safety. *Traffic injury prevention*, 14(sup1), S2-S12.
- Selye, H. (1936). A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*, 138(3479), 32.
- Shaw, T. H., Matthews, G., Warm, J. S., Finomore, V. S., Silverman, L., & Costa Jr, P. T. (2010). Individual differences in vigilance: Personality, ability and states of stress. *Journal of Research in Personality*, 44(3), 297-308.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, 84(2), 127.
- Simpson, H. M. (2003). The evolution and effectiveness of graduated licensing. *Journal of Safety Research*, 34(1), 25- 34.
- Slater, M., Lotto, B., Arnold, M. M., & Sánchez-Vives, M. V. (2009). How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicología*, 40, 193-210.
- Smit, A. S., Eling, P. A. T. M., & Coenen, A. M. L. (2004). Mental effort affects vigilance enduringly: after-effects in EEG and behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 53(3), 239-243.
- Smith, S.S., Horswill, M.S., Chambers, B., & Wetton, M. (2009). Hazard perception in novice and experienced drivers: The effects of sleepiness. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 729-733.

- Sobel, R., & Underhill, R. (1976). Family disorganization and teenage auto accidents. *Journal of safety research*, 8(1), 8-18.
- Spielberger, C. D. (1983). Manual for the State-Trait Anxiety Inventory STAI (form Y)(" self-evaluation questionnaire").
- Steer, R. A., Ranieri, W. F., Beck, A. T., & Clark, D. A. (1993). Further evidence for the validity of the Beck Anxiety Inventory with psychiatric outpatients. *Journal of Anxiety Disorders*, 7(3), 195-205.
- Steyvers, F. J., & De Waard, D. (2000). Road-edge delineation in rural areas: effects on driving behavior. *Ergonomics*, 43(2), 223-238.
- Szalma, J. L., & Teo, G. W. L. (2012). Spatial and temporal characteristics as stress: A test of the dynamic adaptability theory of stress, workload, and performance. *Acta Psychologica*, 139(3), 471-485.
- Tarriere, C. (1963). La vigilance : données objectives et subjectives. *Bulletin n°6*.
- Taylor, D. H. (1964). Drivers' galvanic skin response and the risk of accident. *Ergonomics*, 7(4), 439-451.
- Taylor, J. E., Deane, F. P., & Podd, J. V. (2007). Driving fear and driving skills: Comparison between fearful and control samples using standardized on-road assessment. *Behaviour Research and Therapy*, 45(4), 805-818.
- Thayer, R. E. (1967). MEASUREMENT OF ACTIVATION THROUGH SELF-REPORT Monograph Supplement 1-V20. *Psychological reports*, 20(2), 663-678.
- Thayer, R.E. (1986). Activation-deactivation adjective check list: current overview and structural analysis. *Psychological report*, 58(2), 607-614.
- Ting, P. H., Hwang, J. R., Doong, J. L., & Jeng, M. C. (2008). Driver fatigue and highway driving: A simulator study. *Physiology & Behavior*, 94(3), 448-453.
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une presentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Education*, 3, 37-64.
- Triggs, T.J., (2004). Simulation evaluation of driver performance changes during the early years of driving. In *Proceedings of the driving simulation conference* (pp. 421-430). Paris, France.
- Tsang, P.S., & Velazquez, V.L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, 39(3), 358-381.
- Tyndiuk, F., Schlick, C., Claverie, B., & Thomas, G. (2003). Modèles et facteurs humains en IHM-application à la réalité virtuelle. In A. Herzig, B. Chaid-draa, & P. Mathieu (Eds), *Modèles Formels de l'Interaction (MFI)* (pp. 301-306).
- Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K., & Crundall, D. (2002). Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(2), 87-97.
- Van Elslande, P. (2003). Erreurs de conduite et besoins d'aide: une approche accidentologique en ergonomie. *Le travail humain*, 66(3), 197-224.
- Van Elslande, P., Jaffard, M., Fouquet, K., & Fournier, J. Y. (2009). *De la vigilance à l'attention: influence de l'état psychophysiologique et cognitive du conducteur dans les mécanismes d'accidents*. Salon-de-Provence: INRETS report no. 280.
- Veltman, J.A., & Gaillard, A.W.K. (1996). Physiological indices of workload in a simulated flight task. *Biological psychology*, 42(3), 323-342.
- Verster, J.C., & Roth, T. (2012). Predicting psychopharmacological drugs effects on actual driving performance (SDLP) from psychometric tests measuring driving-related skills. *Psychopharmacology*, 220(2), 293-301.
- Vertet, M., & Giausserand, S. (2006). Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes. *Sétra/CSTR*.
- Verwey, W. B. (2000). On-line Driver Workload Estimation. Effects of Road Situation and Age on Secondary Task Measures. *Ergonomics*, 43(2), 187-209.
- Wallis, T., & Horswill, M. S. (2007). Using fuzzy signal detection theory to determine why experienced and trained drivers respond faster than novices in a hazard perception test. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1177-1185.

- Watson, J.M., & Strayer, D.L. (2010). Supertaskers: Profiles in extraordinary multitasking ability. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(4), 479-485.
- Westerman, S. J., & Haigney, D. (2000). Individual differences in driver stress, error and violation. *Personality and Individual Differences*, 29(5), 981-998.
- Wickens, C.D. (1987). Attention. *Advances in Psychology*, 47, 29-80.
- Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. *Risk Anal.*, 2, 209-225.
- Williams, A.F. (2003). Teenage drivers: patterns of risk. *Journal of Safety Research*, 34, 5-15.
- Wilson, G.F. (2001). An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures. *International Journal of Aviation Psychology*, 12, 3-18.
- Wisch, M., Seiniger, P., Pastor, C., Edwards, M., Visvikis, C., & Reeves, C. (2013). Scenarios and weighting factors for pre-crash assessment of integrated pedestrian safety systems. ASPECSS project GA, (285106).
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5), 459-482.
- Ying, L., Fu, S., Qian, X., & Sun, X. (2011). Effects of mental workload on long-latency auditory-evoked-potential, salivary cortisol, and immoglobulin A. *Neuroscience Letters*, 491(1), 31-34.
- Zijlstra, F.R.H. (1993). *Efficiency in work behavior. A design approach for modern tools*. PhD thesis, Delft University of Technology. Delft, The Netherlands: Delft University Press.

Annexes

Annexe 1. Recrutement des participants



Recherche sur simulateur de conduite

Dans le cadre de travaux sur le comportement de conduite des jeunes conducteurs, nous recherchons des participants pour conduire le simulateur de conduite.

Un certificat de passation d'expérience vous sera délivré.

Veuillez remplir le questionnaire ci-dessous : *(Cocher la case correspondante)*

Sexe : ☐ Homme ☐ Femme

Date de naissance :

Avez-vous le permis B ? ☐ Oui ☐ Non

Si oui, indiquez la date d'obtention :

Avez-vous fait la conduite accompagnée ? ☐ Oui ☐ Non

Souhaitez-vous participer à une expérience sur un simulateur de conduite ?

☐ Oui ☐ Non

Si oui, indiquez votre numéro de téléphone / mail :

.....
.....



Figure 142. Prospectus pour le recrutement des participants.

Participez à une recherche sur simulateur de conduite

Critères pour participer:

- De 18 à 20 ans ayant le permis de conduire depuis moins de 2 mois,
- 21 ans ayant le permis de conduire depuis moins d'1 an,
- 21 ans ayant eu le permis de conduire à 18 ans,

Contacts :



julie.paxion@ifsttar.fr

04.90.57.79.67/06.61.70.79.27

Lieu : IFSTTAR – Chemin de la Croix Blanche – 13300 Salon de Provence

Figure 143. Affiche pour le recrutement des participants.

Annexe 2. Critères d'inclusion (expérimentation 1)

Principaux critères d'inclusion :

Seront inclus dans l'étude :

- les participants ne prenant pas de psychotropes ;
- les participants ne suivant aucun traitement médical ;
- les participants n'ayant pas de problèmes de sommeil ;
- les participants ayant une vue normale ou corrigée ;
- les participants n'étant pas sujet au « mal du simulateur » ;
- les participants âgés de 18 à 30 ans ;
- les participants ayant moins de 2 mois de permis, 3 ans de permis ou plus de 5 ans de permis.

Critères d'exclusion:

Seront exclus de la participation à cette étude:

- les participants ayant participé à un essai clinique dans un délai inférieur à la période d'exclusion de ce projet (vérification par l'inscription au Fichier National);
- les sujets prenant des psychotropes
- les sujets présentant des habitudes, antécédents médicaux, ou toute pathologie aiguë ou chronique pouvant influencer les résultats aux tests, en particulier les sujets :
 - * présentant une histoire passée ou présente de maladie neurologique ;
 - * souffrant de troubles de la vigilance diurne ou du sommeil : insomnies, parasomnies ou hypersomnies ;
 - * avec une acuité visuelle, éventuellement après correction par lentilles de contact, inférieure à 7/10 ;
 - * ayant pris tout hypnotique ou tout autre dépresseur du système nerveux central (morphiniques, barbituriques, antiépileptiques, antidépresseurs sédatifs, antihistaminiques, anxiolytiques, neuroleptiques, clonidine et apparentés) pendant le mois qui précède l'expérimentation ;
 - * consommant plus de 28 unités d'alcool par semaine ;
 - * consommant plus de 150 mg de caféine par jour.
- les sujets présentant une prédisposition au mal des transports.

Ces critères seront vérifiés par téléphone avant l'expérimentation. Les personnes incluses devront signer la fiche d'information et le formulaire de consentement éclairé avant de participer au protocole expérimental, elles devront par ailleurs être affiliées à un régime de la sécurité sociale.

Les participants pourront s'ils le souhaitent avoir un compte-rendu des résultats.

Annexe 3. Fiche d'information (Expérimentation 1)

INFORMATIONS DONNEES AUX VOLONTAIRES ET MODALITES DE DELIVRANCE DE CETTE INFORMATION (un exemplaire sera donné au participant)

Titre de la recherche : Effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail, l'anxiété, la vigilance et les performances de conduite

Identité du promoteur : Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) – Unité de recherche Mécanismes d'Accidents, représenté par Mme Jacquot Guimbal.

Adresse : Chemin de la Croix-Blanche, 13300 Salon de Provence

Il vous est proposé de participer à une recherche qui porte sur l'effet de différentes situations de conduite sur la conduite en simulation dont L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) est promoteur. Cette recherche sera réalisée en une fois et durera environ 1h30. Avant de commencer l'expérimentation, vous signerez la notice d'engagement éclairé notifiant ainsi votre acceptation de participation.

Vous serez amené à conduire le simulateur pendant 1 h environ. Vous devrez alors conduire comme en situation réelle de conduite, en respectant la limitation de vitesse de 90 km/h. Avant et après chaque situation de conduite, des questionnaires seront à compléter. Des douches et une salle de repos seront à votre disposition à la fin de l'expérimentation.

L'Ifsttar a souscrit, auprès d'Axa France Iard une assurance en responsabilité civile couvrant les conséquences dommageables éventuelles que pourrait subir un participant au projet de recherche.

Votre participation d'une durée de 1h30 s'inscrit dans une étude s'étendant jusqu'en fin d'année 2013. Vous ne percevrez aucune indemnité forfaitaire en compensation des contraintes et frais générés par votre participation à cette recherche.

Pour des raisons générales de protection des personnes volontaires, vous devez être affilié à la sécurité sociale. La participation à cette recherche implique une période d'exclusion de **1 jour** après la dernière demi-journée de participation durant laquelle vous ne pourrez pas participer à une autre recherche sur les personnes, notamment biomédicale.

Les résultats individuels et les différentes données vous concernant seront strictement confidentiels. Conformément à la loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), vous avez le droit d'accéder aux données vous concernant recueillies dans cette étude. Vous disposez également d'un droit de rectification et d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Date :
recherche :

Signature du directeur de la

Signature du volontaire :

Catherine Berthelon

Annexe 4. Formulaire de consentement libre et éclairé

(Expérimentation 1)

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ

(Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le directeur de la recherche)

Titre de l'étude: Effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail, l'anxiété, la vigilance et les performances de conduite.

De M, Mme, Mlle (Nom, Prénom)

Adresse :

.....

J'ai été invité(e) à participer à une étude réalisée par l'IFSTTAR. Le but de cette étude est d'identifier plusieurs facteurs de risque pour la conduite automobile. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par l'expérimentateur. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci. Une notice d'information m'a également été fournie dans laquelle le détail de l'expérimentation m'a été décrit. J'ai été libre d'accepter ou de refuser.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude, son collaborateur ou toute autre personne avec qui je serai amené à être en contact au cours de cette recherche.

J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.

Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par la loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), est applicable à tout moment (texte disponible auprès de Madame Catherine Berthelon).

Je ne percevrai aucune indemnité forfaitaire en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche.

J'ai expliqué la nature et les contraintes
de cette étude à M (Mme ou Mlle)

Le coordinateur de recherche

(Précédée de la date manuscrite)

Signature du volontaire

(Précédée de la date manuscrite)

Annexe 5. Approbation de l'expérimentation 1 par le CERB



Le 20/01/2012

Mme C Berthelon
IFSTTAR – MA
Chemin de la Croix- Blanche
13300 Salon de Provence

Chère Collègue,

Le Comité Ethique Interne IFSTTAR a examiné votre projet intitulé
**«*Simulation de scenarii, charge mentale, vigilance et stress de
jeunes conducteurs novices*»**.

Le projet présenté correspond à une expérimentation sur simulateur de
conduite visant à comparer les réactions de différents types de
conducteurs selon leurs modalités d'apprentissage et leur ancienneté de
conduite dans des situations de conduite de complexité variable et donc
de mobilisation de charge mentale

L'information donnée apparait adaptée. Tout au plus pourrait-on souhaiter
un titre d'étude reflétant plus son objectif et ses modalités de réalisation:

*« Conduite automobile chez les jeunes conducteurs en relation avec la
charge mentale, la vigilance et le stress : étude sur simulateur. Impact
des modalités et de l'ancienneté de l'apprentissage »*.

Le Comité Ethique Interne IFSTTAR a examiné votre projet intitulé
**«Simulation de scenarii, charge mentale, vigilance et stress de
jeunes conducteurs novices»».**

Le projet présenté correspond à une expérimentation sur simulateur de
conduite visant à comparer les réactions de différents types de
conducteurs selon leurs modalités d'apprentissage et leur ancienneté de
conduite dans des situations de conduite de complexité variable et donc
de mobilisation de charge mentale

L'information donnée apparaît adaptée. Tout au plus pourrait-on souhaiter
un titre d'étude reflétant plus son objectif et ses modalités de réalisation:

*« Conduite automobile chez les jeunes conducteurs en relation avec la
charge mentale, la vigilance et le stress : étude sur simulateur. Impact
des modalités et de l'ancienneté de l'apprentissage ».*

Dans sa formulation, il n'apparaît pas que ce projet rentre dans la définition
d'une recherche biomédicale.

En vous remerciant de nous avoir donné l'opportunité d'examiner ce projet,

Pr. Jean- Christophe Thalabard, Président CEI IFSTTAR

P5 UMR CNRS 8145

Université Paris Descartes
rue des Saints Pères
06 Paris

n-christophe.thalabard@mi.parisdescartes.fr
01.42.34.87.68

Centre de Diagnostic

Hôtel- Dieu
1, Place du parvis de Notre- Dame
75004 Paris

Annexe 6. Questionnaire de charge de travail : NASA-TLX

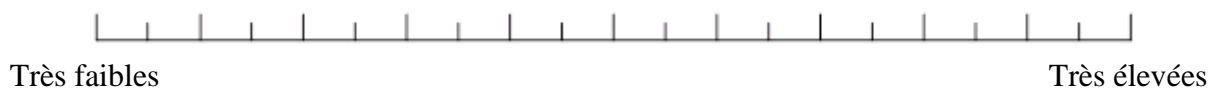
NASA-TLX après la situation simple :

Placez une croix “X” sur chacune des échelles à l’endroit qui indique le mieux votre sentiment durant la session de conduite que vous venez de réaliser. Vos compétences de conduite ne sont pas évaluées. Il n’y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Exigence mentale:

- Sur l’ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient ?



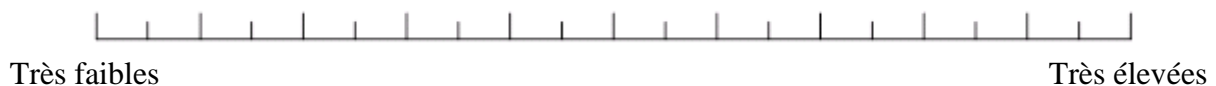
- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites (sans piétons) ?



- Appréhension des piétons :

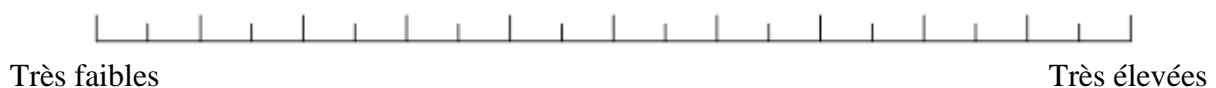
Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Exigence physique :

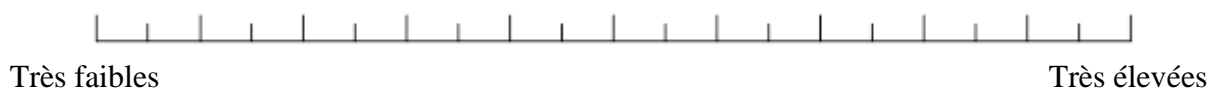
- Sur l’ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient ?



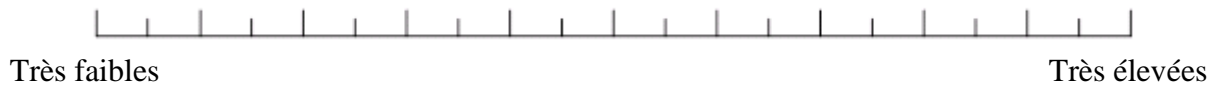
- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites (sans piétons) ?



- Appréhension des piétons :

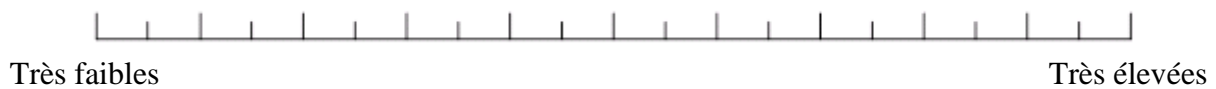
Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Exigence temporelle :

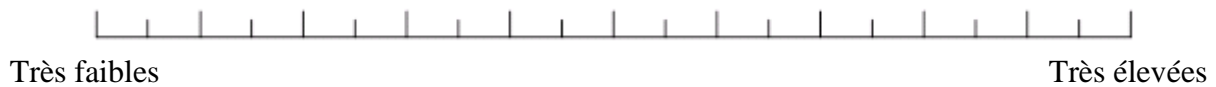
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite ?



- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les lignes droites (sans piétons) ?



- Appréhension des piétons :

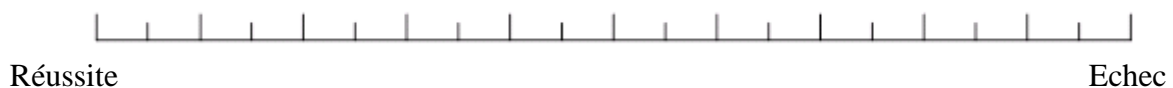
Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, aux moments où les piétons surgissaient ?



Performance :

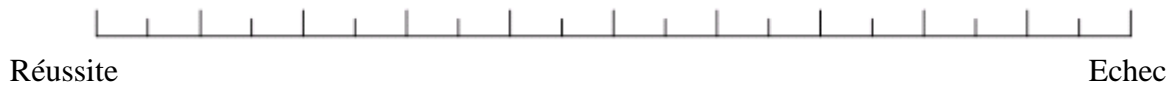
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé ?



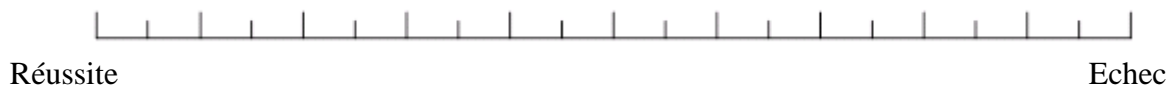
- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les lignes droites (sans piétons) ?



- Appréhension des piétons :

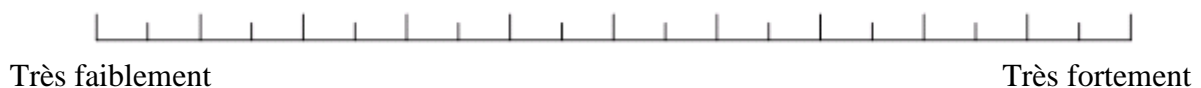
Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé aux moments où les piétons surgissaient ?



Effort :

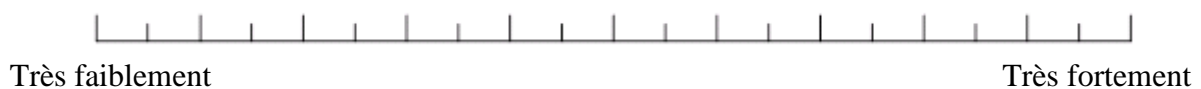
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part ?



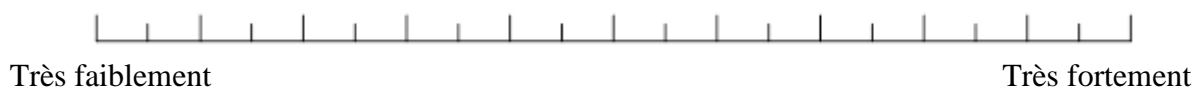
- Appréhension des lignes droites :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les lignes droites (sans piétons) ?



- Appréhension des piétons :

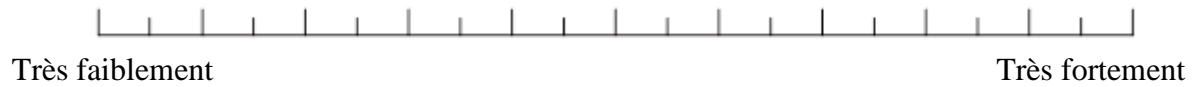
La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part aux moments où les piétons surgissaient ?



Frustration :

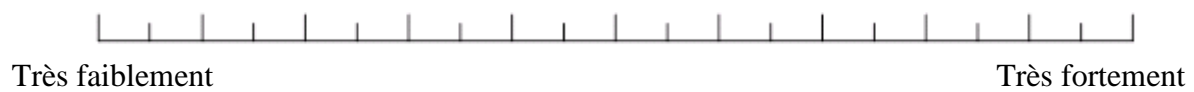
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) ?



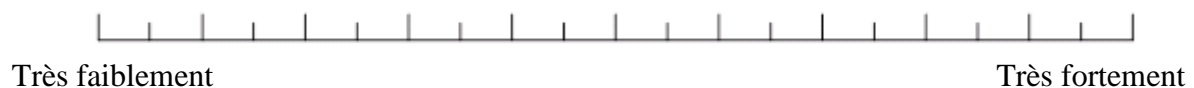
- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les lignes droites (sans piétons) ?



- Appréhension des piétons :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) aux moments où les piétons surgissaient ?



NASA-TLX après la situation moyennement complexe :

Placez une croix "X" sur chacune des échelles à l'endroit qui indique le mieux votre sentiment durant la session de conduite que vous venez de réaliser. Vos compétences de conduite ne sont pas évaluées. Il n'y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Exigence mentale:

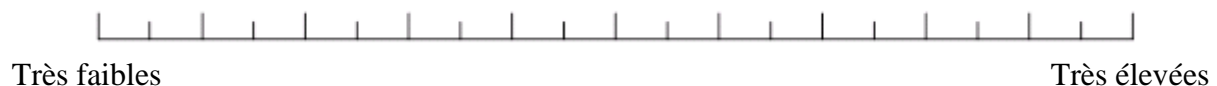
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient ?



- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



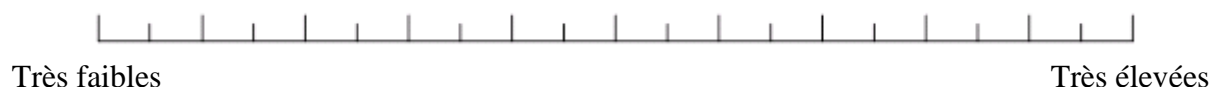
- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



- Appréhension des piétons :

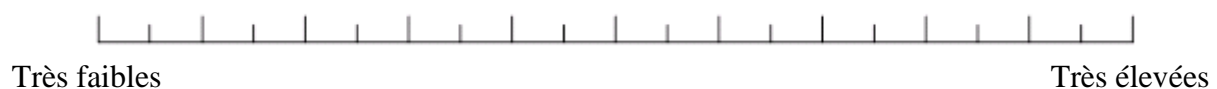
Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Exigence physique :

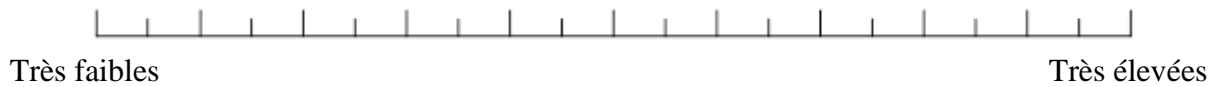
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient ?



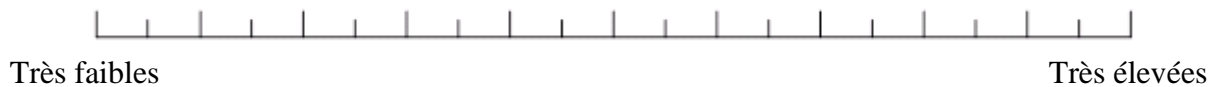
- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



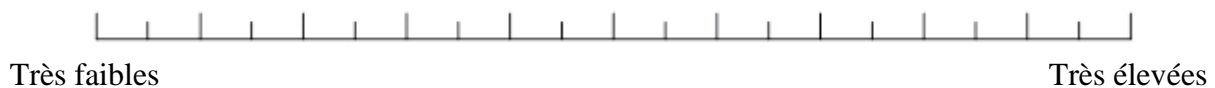
- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



- Appréhension des piétons :

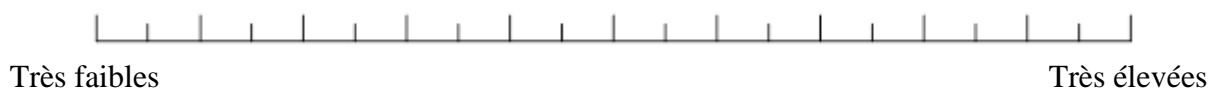
Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Exigence temporelle :

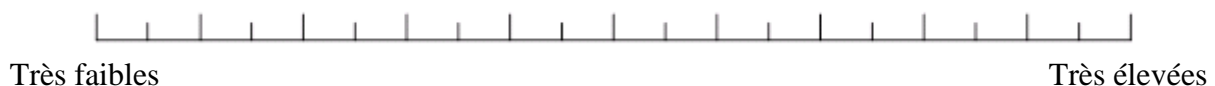
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite ?



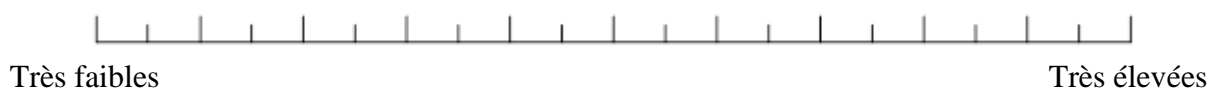
- Appréhension des lignes droites :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les lignes droites ?



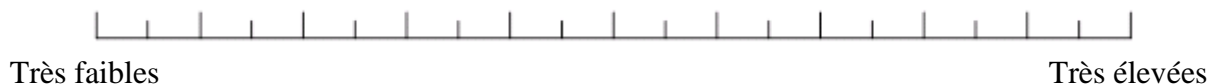
- Appréhension des virages :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les virages ?



- Appréhension des piétons :

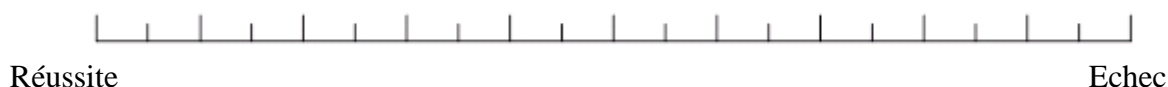
Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, aux moments où les piétons surgissaient ?



Performance :

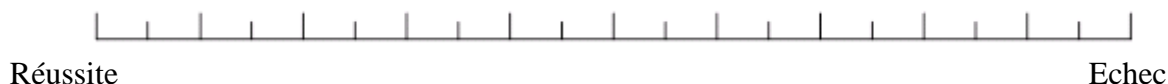
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé ?



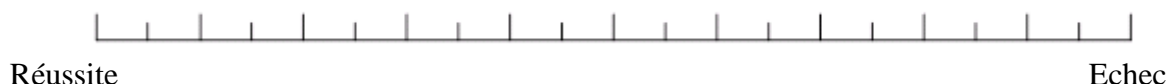
- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les lignes droites ?



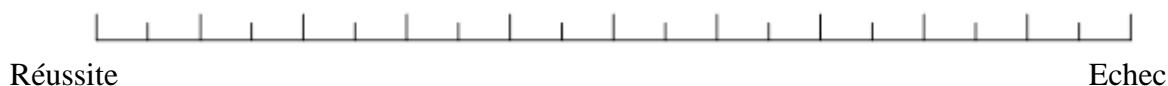
- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les virages ?



- Appréhension des piétons :

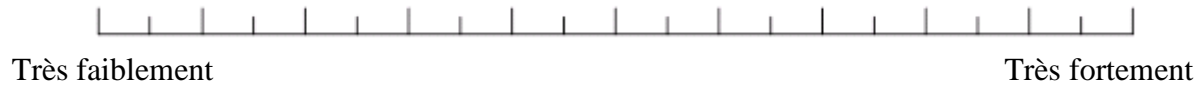
Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé aux moments où les piétons surgissaient ?



Effort :

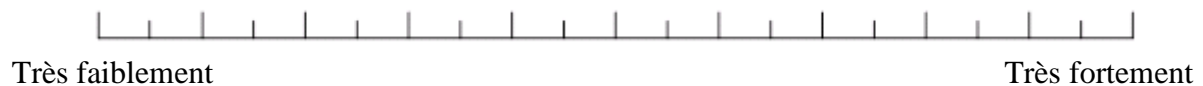
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part ?



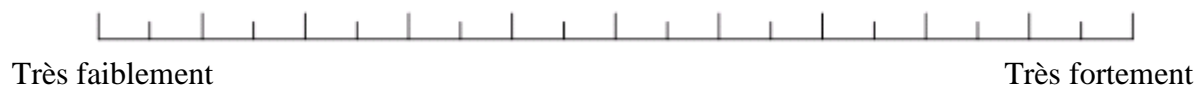
- Appréhension des lignes droites :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les lignes droites ?



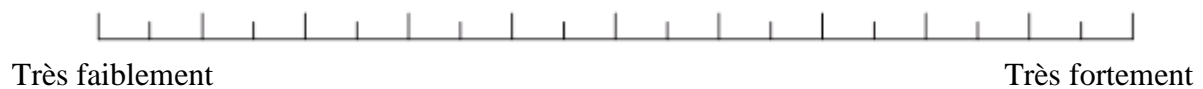
- Appréhension des virages :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les virages ?



- Appréhension des piétons :

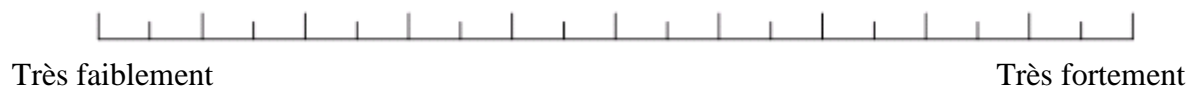
La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part aux moments où les piétons surgissaient ?



Frustration :

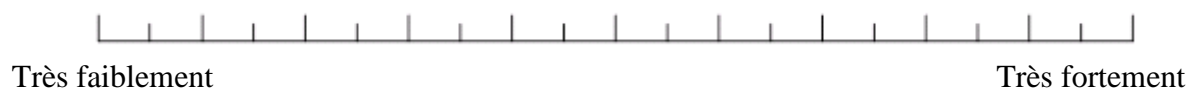
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) ?



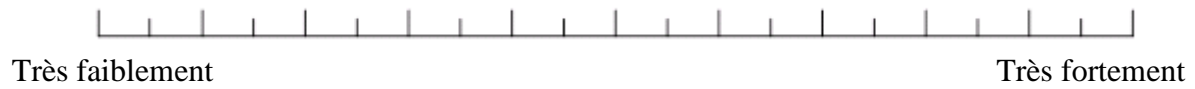
- Appréhension des lignes droites :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les lignes droites ?



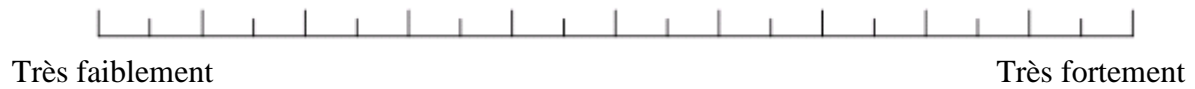
- Appréhension des virages :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les virages ?



- Appréhension des piétons :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) aux moments où les piétons surgissaient ?



NASA-TLX après la situation très complexe :

Placez une croix "X" sur chacune des échelles à l'endroit qui indique le mieux votre sentiment durant la session de conduite que vous venez de réaliser. Vos compétences de conduite ne sont pas évaluées. Il n'y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Exigence mentale:

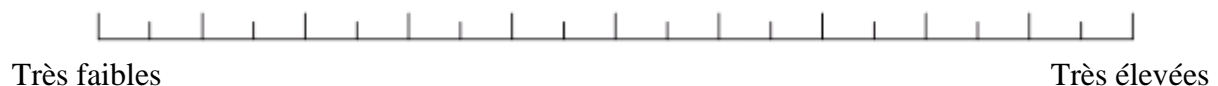
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient ?



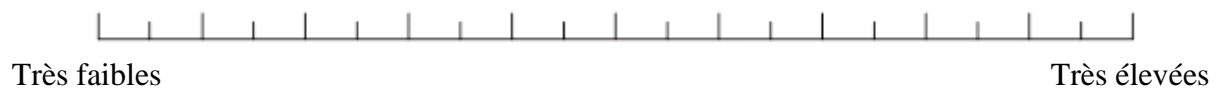
- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



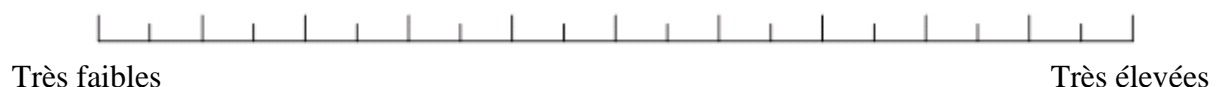
- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



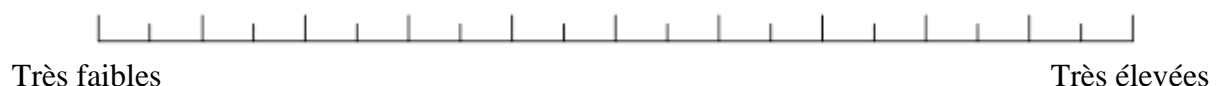
- Appréhension du trafic :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient avec la présence d'autres véhicules ?



- Appréhension des piétons :

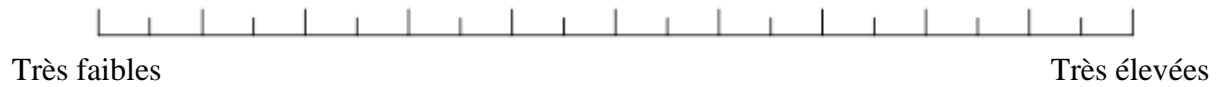
Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Exigence physique :

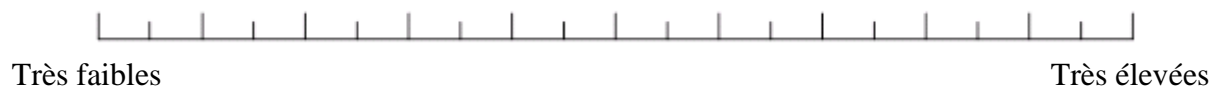
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient ?



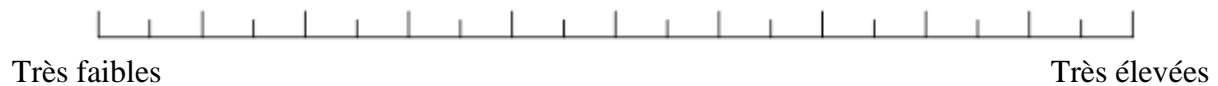
- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



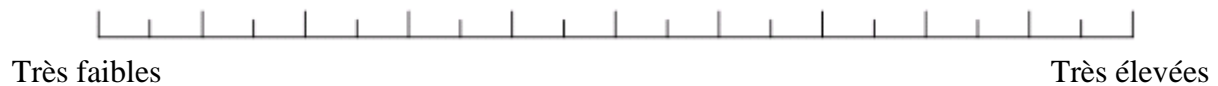
- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



- Appréhension du trafic :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient avec la présence d'autres véhicules ?



- Appréhension des piétons :

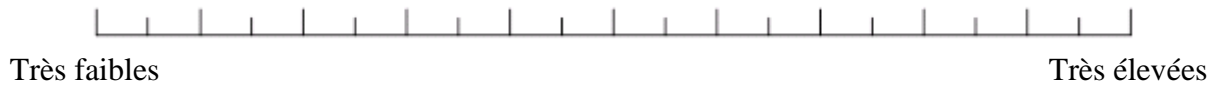
Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Exigence temporelle :

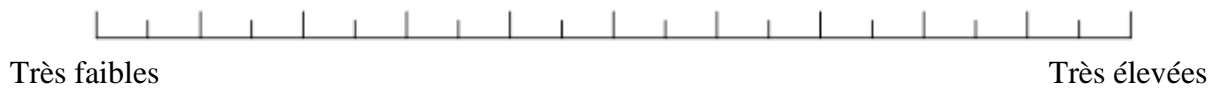
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite ?



- Appréhension des lignes droites :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les lignes droites ?



- Appréhension des virages :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les virages ?



- Appréhension du trafic :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, avec la présence d'autres véhicules ?



- Appréhension des piétons :

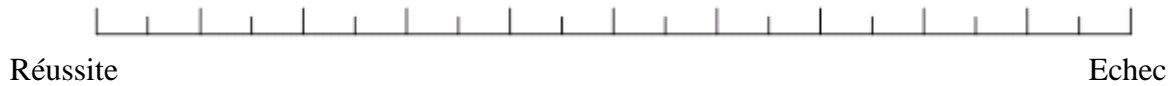
Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, aux moments où les piétons surgissaient ?



Performance :

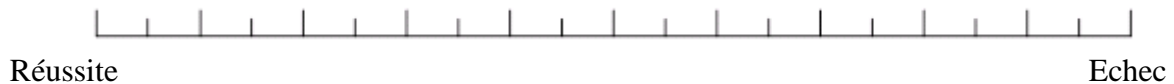
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé ?



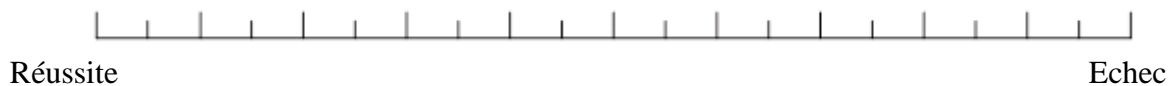
- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les lignes droites ?



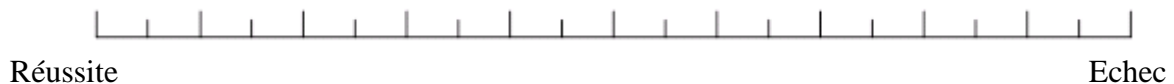
- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les virages ?



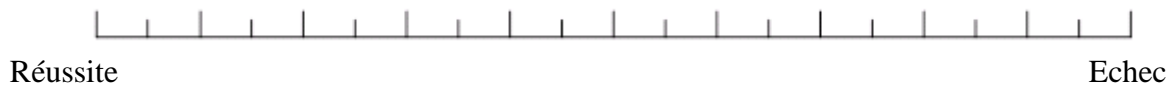
- Appréhension du trafic :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé avec la présence d'autres véhicules ?



- Appréhension des piétons :

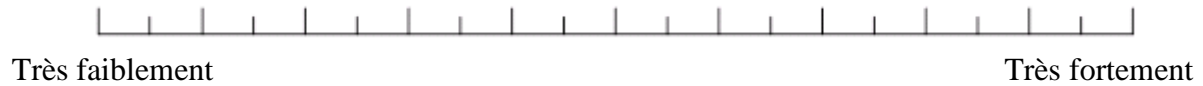
Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé aux moments où les piétons surgissaient ?



Effort :

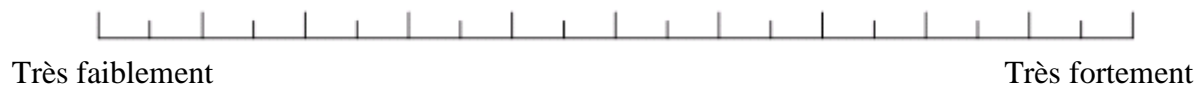
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part ?



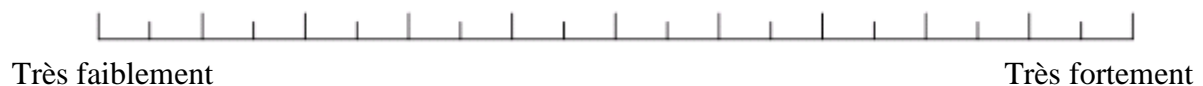
- Appréhension des lignes droites :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les lignes droites ?



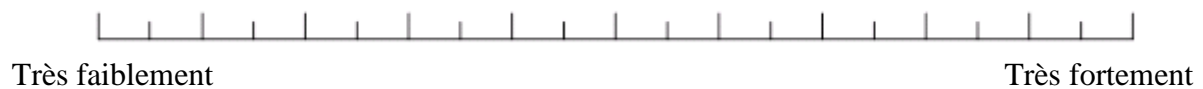
- Appréhension des virages :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les virages ?



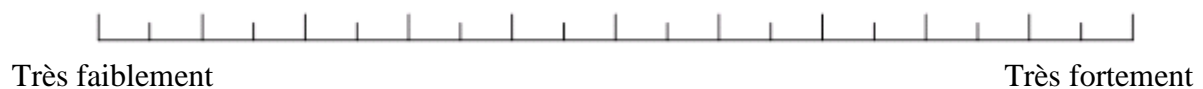
- Appréhension du trafic :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part avec la présence d'autres véhicules ?



- Appréhension des piétons :

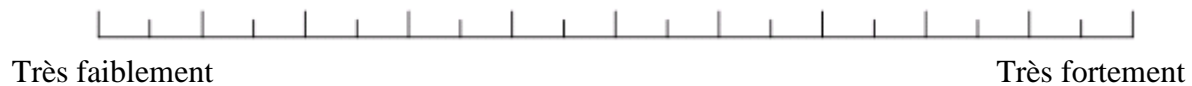
La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part aux moments où les piétons surgissaient ?



Frustration :

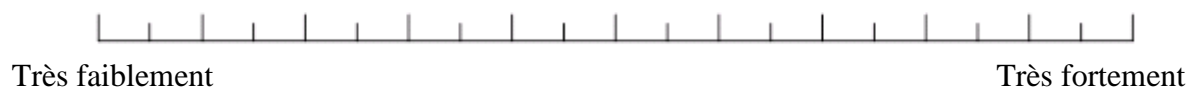
- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) ?



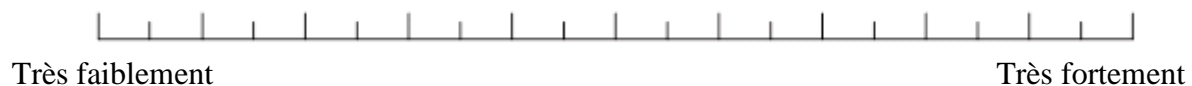
- Appréhension des lignes droites :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les lignes droites ?



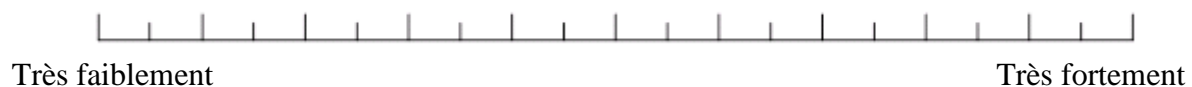
- Appréhension des virages :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les virages ?



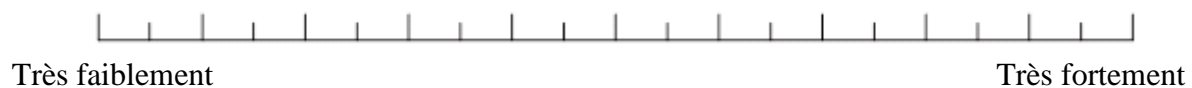
- Appréhension du trafic :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) avec la présence d'autres véhicules ?



- Appréhension des piétons :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) aux moments où les piétons surgissaient ?



Annexe 7. Echelle de Thayer

ECHELLE DE THAYER

PARTICIPANT :

DATE:

HEURE:

Entourez la bonne réponse :

+ + je me sens très

+ je me sens un peu

? je ne sais pas

0 je ne me sens pas du tout

Ne pas utiliser cet espace :

GA :

GD :

HA :

DS :

GA/DS :

REPONDEZ A TOUTES LES QUESTIONS

Actif (ve) ++ + ? 0

Indifférent (e) ++ + ? 0

Endormi(e) ++ + ? 0

Mal à l'aise ++ + ? 0

Energique ++ + ? 0

Calme ++ + ? 0

Fatigué (e) ++ + ? 0

Dynamique ++ + ? 0

Détendu (e) ++ + ? 0

Attentif (ve) ++ + ? 0

Somnolent (e) ++ + ? 0

Inquiet (e) ++ + ? 0

« La pêche » ++ + ? 0

Tranquille ++ + ? 0

Eveillé (e) ++ + ? 0

Enervé (e) ++ + ? 0

Silencieux (se) ++ + ? 0

En forme ++ + ? 0

Tendu (e) ++ + ? 0

Crispé (e) ++ + ? 0

Dépouillement de l'échelle de Thayer :

- Pour tous les adjectifs sauf attentif et éveillé

++ = 4 + = 3 ? = 2 0 = 1

- Pour attentif et éveillé

++ = 1 + = 2 ? = 3 0 = 4

Regroupement des adjectifs :

GA (General activation) : actif, énergique, dynamique, la pêche, en forme

DS (Deactivation sleep) : endormi, fatigué, attentif, somnolent, éveillé

HA (High Activation) : mal à l'aise, inquiet, énervé, tendu, crispé

GD (General Deactivation) : indifférent, calme, détendu, tranquille, silencieux

Annexe 8. Critères d'inclusion et de non inclusion

(expérimentation 2)

Nombre prévu de personnes par groupe(s) étudié(s): 16

Principaux critères d'inclusion :

La réponse à chacune des questions suivantes devra être OUI pour permettre au sujet d'être inclus dans l'étude :

- le sujet est-il âgé de 18 à 22 ans ?
- après visite médicale, le sujet est-il considéré par l'investigateur comme sain ?
- le sujet a-t-il moins de 1 mois de permis ou le sujet a-t-il 3 ans de permis?

Critères d'exclusion:

Seront exclus de la participation à cette étude:

- les sujets ayant participé à un essai clinique dans un délai inférieur à la période d'exclusion de ce projet (vérification par l'inscription au Fichier National);

- les femmes enceintes ;

- les sujets;

- * présentant une dépendance, actuelle ou passée, à l'alcool, aux opiacés, aux benzodiazépines ou à toute drogue illicite ;

- * souffrant d'insuffisance respiratoire, d'asthme, d'insuffisance hépatique, de myasthénie ou d'un syndrome d'apnée du sommeil ;

- les sujets présentant des habitudes, antécédents médicaux, ou toute pathologie aiguë ou chronique pouvant influencer les résultats aux tests, en particulier les sujets :

- * présentant une histoire passée ou présente de maladie neurologique ;

- * souffrant de troubles de la vigilance diurne ou du sommeil : insomnies, parasomnies ou hypersomnies ;

- * avec une acuité visuelle, éventuellement après correction par lentilles de contact, inférieure à 7/10 ;

- * ayant pris tout hypnotique ou tout autre déprimeur du système nerveux central (morphiniques, barbituriques, antiépileptiques, antidépresseurs sédatifs, antihistaminiques, anxiolytiques, neuroleptiques, clonidine et apparentés) pendant le mois qui précède l'expérimentation ;

- * consommant plus de 28 unités d'alcool par semaine ;

- * consommant plus de 150 mg de caféine par jour.

- les sujets présentant une prédisposition au mal des transports.

Les personnes incluses devront signer le formulaire de consentement éclairé avant de participer au protocole expérimental, elles devront par ailleurs être affiliées à un régime de la sécurité sociale.

Les participants pourront s'ils le souhaitent avoir un compte-rendu des résultats.

Durée de la participation : 1 demi-journées

Montant des indemnités par personne : 60 euros

Durée de la période d'exclusion* : 1 jour après la passation

*« En vue de l'application des dispositions du premier alinéa de l'article L. 1121-11 et de l'article L. 1121-12 et pour les recherches biomédicales portant sur les produits mentionnés à l'article L. 5311-1, un fichier national recense les personnes qui ne présentent aucune affection et se prêtent volontairement à ces recherches ainsi que les personnes malades lorsque l'objet de la recherche est sans rapport avec leur état pathologique » (art. L. 1121-16 CSP).

Annexe 9. Questionnaire d'informations générales **(expérimentation 2)**

Participant :

Date :

Heure :

Questionnaire

Questions générales

Date de naissance :

Sexe : Homme Femme

Date d'obtention du permis :

Apprentissage de la conduite :

- ☐ Apprentissage traditionnel
- ☐ Fin du permis probatoire

Fréquence de conduite :

Jamais 1 fois/mois 1 fois/semaine 2 à 3 fois/semaine Tous les jours

Possédez-vous une voiture ?

Oui Non

Conduisez-vous un autre véhicule (moto, scooter, etc.) ?

Jamais 1 fois/mois 1 fois/semaine 2 à 3 fois/semaine Tous les jours

Avez-vous déjà été impliqué dans un accident de la route ?

Jamais 1 fois 2 fois 3 fois Plus de 3 fois

Jouez-vous aux jeux vidéo ?

Jamais 1 fois/mois 1 fois/semaine 2 à 3 fois/semaine Tous les jours

Quel est votre niveau d'étude ?

Lycée/CAP/BEP Bac Bac+1 Bac+2 Bac+3 Bac+4 Bac+5

Votre santé

Avez-vous une pathologie chronique ?

- ☐ Oui, lequel ?
- ☐ Non

Avez-vous des problèmes cardiaques ?

Oui Non

Avez déjà eu des troubles neurologiques particuliers? (épilepsies/troubles du sommeil)

Oui Non

Avez-vous des antécédents psychiatriques ?

Oui Non

Avez-vous des problèmes respiratoires particuliers ?

Oui Non

Présentez-vous des allergies dermatologiques ?

- ☐ Oui, lequel ?
- ☐ Non

Présentez-vous ou avez-vous présenté une dépendance à une substance particulière (cannabis, médicaments, etc.) ?

Oui Non

Si oui, à quelle substance ? Et pendant combien de temps ?

.....

Votre quotidien

Travaillez-vous la nuit ?

Oui

Non

Si oui, faites-vous les 3/8 ?

Oui

Non

En moyenne, combien d'heure dormez vous par nuit ?

Moins de 4h

5h-6h

6h-7h

7h-8h

8h-9h

9h-10h

plus de 10h

A quelle fréquence buvez-vous du café ?

Jamais

1-2 tasses/jour

2-3 tasses/jour

3-4 tasses/jour

plus de 4 tasses

A quelle fréquence buvez-vous de l'alcool ? (En unités par semaine ; 1 unité = une dose servis par un bar)

Jamais

1-5

5-10

10-15

15-20

20-25

25-30

plus de 30

Annexe 10. Fiche d'information (expérimentation 2)

INFORMATIONS DONNEES AUX VOLONTAIRES ET MODALITES DE DELIVRANCE DE CETTE INFORMATION (un exemplaire sera donné au participant)

Titre de la recherche : Effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail, l'anxiété, la vigilance et les performances de conduite

Identité du promoteur : Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) – Unité de recherche Mécanismes d'Accidents, représenté par Mme Jacquot Guimbal.

Adresse : Chemin de la Croix-Blanche, 13300 Salon de Provence

Il vous est proposé de participer à une recherche qui porte sur l'effet de différentes situations de conduite sur la conduite en simulation dont L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) est promoteur. Cette recherche sera réalisée en une fois et durera environ 1h30. Avant de commencer l'expérimentation, vous signerez la notice d'engagement éclairé notifiant ainsi votre acceptation de participation.

Vous serez amené à conduire le simulateur pendant 1 h environ. Vous porterez un appareil de mesures de la fréquence cardiaque (ceinture abdominale), de l'électro-encéphalographie (bonnet avec 9 électrodes) et de la réponse électrodermale (électrodes sur l'index et le majeur). Vous devrez alors conduire comme en situation réelle de conduite, en respectant la limitation de vitesse de 90 km/h. Avant et après chaque situation de conduite, un prélèvement salivaire sera effectué et des questionnaires seront à compléter. Des douches et une salle de repos seront à votre disposition à la fin de l'expérimentation.

L'Ifsttar a souscrit, auprès d'Axa France Iard une assurance en responsabilité civile couvrant les conséquences dommageables éventuelles que pourrait subir un participant au projet de recherche.

Votre participation d'une durée de 1h30 s'inscrit dans une étude s'étendant jusqu'en fin d'année 2013. Vous percevrez une indemnité forfaitaire de 60 Euros, en compensation des contraintes et frais générés par votre participation à cette recherche.

Pour des raisons générales de protection des personnes volontaires, vous devez être affilié à la sécurité sociale. La participation à cette recherche implique une période d'exclusion de **1 jour** après la dernière demi-journée de participation durant laquelle vous ne pourrez pas participer à une autre recherche sur les personnes, notamment biomédicale.

Les résultats individuels et les différentes données vous concernant seront strictement confidentiels. Conformément à la loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), vous avez le droit d'accéder aux données vous concernant recueillies dans cette étude. Vous disposez également d'un droit de rectification et d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Date :
recherche :

Signature du directeur de la

Signature du volontaire :

Catherine Berthelon

Annexe 11. Formulaire de consentement libre et éclairé **(expérimentation 2)**

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT LIBRE ET ÉCLAIRÉ (Établi en deux exemplaires, un pour le participant, un pour le directeur de la recherche)

Titre de l'étude: Effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail, l'anxiété, la vigilance et les performances de conduite.

De M, Mme, Mlle (Nom, Prénom)

Adresse :

.....

J'ai été invité(e) à participer à une étude réalisée par l'IFSTTAR. Le but de cette étude est d'identifier plusieurs facteurs de risque pour la conduite automobile. La nature de l'étude, son déroulement et ses contraintes m'ont été expliqués par l'expérimentateur. J'ai reçu une réponse satisfaisante à toutes les questions que j'ai pu poser librement à propos de celle-ci. Une notice d'information m'a également été fournie dans laquelle le détail de l'expérimentation m'a été décrit. J'ai été libre d'accepter ou de refuser.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je suis libre à tout moment d'arrêter ma participation ; j'en informerai alors le responsable de l'étude, son collaborateur ou toute autre personne avec qui je serai amené à être en contact au cours de cette recherche.

J'accepte de participer à cette étude dans les conditions précisées ci-dessus.

Les données me concernant resteront strictement confidentielles. Je n'autorise leur consultation et leur traitement informatique que par des personnes qui collaborent à l'étude. J'ai bien noté que le droit d'accès, prévu par la loi n°78-17 du 6 Janvier 1978, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, modifiée par la loi n° 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel (article 39), est applicable à tout moment (texte disponible auprès de Madame Catherine Berthelon).

Je percevrai une indemnité forfaitaire de 60 Euros, en compensation des contraintes et frais générés par ma participation à cette recherche. Dans le cas où je demanderais à mettre fin à ma participation avant la fin de l'expérimentation, mon indemnisation serait calculée au prorata de la durée de ma participation.

J'ai expliqué la nature et les contraintes
de cette étude à M (Mme ou Mlle)

Le coordinateur de recherche
(Précédée de la date manuscrite)

Signature du **volontaire**
(Précédée de la date manuscrite)

Annexe 12. Approbation de l'expérimentation 2 par le CERB



Pr. JC Thalabard, MD, PhD

MAP5, UMR CNRS 8145

Université Paris Descartes

45, rue des Sts Pères

75006 Paris

Tel. (33).(0)1.83.94.58.78

Courriel : jean-christophe.thalabard@mi.parisdescartes.fr

PR-1 Hôpital Cochin, APHP

53, Ave de l'Observatoire

75014 Paris

Tel. (33).(0)1.58.41.35.50

Courriel : jean-christophe.thalabard@htd.aphp.fr

Le 03/09/2012

Mme C Berthelon

IFSTTAR – MA

Chère Collègue et Amie,

Le CERB IFSTTAR a examiné votre projet intitulé **«Effets de la situation et de l'expérience sur la charge de travail, l'anxiété, la vigilance et les performances de conduite »**.

Le protocole s'intéresse au rôle de l'inexpérience sur la surcharge mentale au cours de la conduite, pouvant contribuer à des réactions accidentogènes chez les conducteurs novices. L'expérimentation proposée concerne 4 groupes de 12 jeunes conducteurs, adultes, âgés de 18 à 30 ans, des deux sexes, (novices avec apprentissage traditionnel, novices ayant suivi un apprentissage anticipé de la conduite, conducteurs en fin du permis probatoire, expérimentés). Chaque sujet est exposé, sur simulateur de conduite, à un plan expérimental croisant 3 situations de conduite, de complexité croissante (simple, moyennement complexe et très complexe) et trois scénarios impliquant un piéton qui traversant la route. Les variables recueillies concernent les performances de conduite ainsi que des données objectives physiologiques (obtenues par un Biopac) de la charge de travail (fréquence cardiaque), de l'anxiété (réponse électrodermale et prélèvement salivaire du taux de cortisol) et de la vigilance (électroencéphalogramme) ainsi que des données subjectives recueillies par questionnaires.

Le document présenté correspond à une situation d'expérimentation à finalité psycho-comportementale, non invasive, sans risque majeur pour le volontaire qui s'y prête, avec une finalité de type épidémiologique, pour laquelle Mme C Berthelon a toutes les qualités requises de supervision et encadrement. **Dans sa finalité, elle n'apparaît cependant pas rentrer, dans l'état actuel de la réglementation, dans le cadre d'une recherche biomédicale telle que définie par la loi 20 décembre**

1988 modifiée. Cependant, en anticipant la mise en oeuvre très prochaine de la loi n° 2012-300 du 5 mars 2012 relative aux recherches impliquant la personne humaine, elle rentre dans cette nouvelle catégorie de recherche impliquant des sujets volontaires de type interventionnel hors médicament ; pour ce type de recherche, l'avis d'un CPP devra être sollicité autorisant, d'une part, compte tenu de sa compétence scientifique, la direction de la recherche par Mme C Berthelon, d'autre part un avis général concernant la classification de cette recherche et son degré de protection nécessaire.

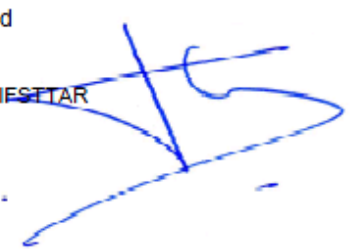
Le protocole apparaît clair. Nous émettons quelques réserves sur l'exploitation possible des dosages salivaires de cortisol, qui ne remettent pas en cause l'avis favorable pour une promotion par l'IFSTTAR. Les informations concernant les précautions prises sur la sécurité des volontaires lors de leur passage au MA sont clairement énoncées. Les informations données apparaissent satisfaisantes. Nous renouvelons, cependant, un commentaire déjà fait plusieurs fois précédemment : dans l'information donnée, il est mentionné la loi 2004-801 du 6 août 2004 concernant les traitements informatisés de données à caractère personnel. Le point important est de bien renseigner la nature des données qui seront conservées, le lieu de conservation et le délai, dès lors que ces données sont directement ou indirectement identifiantes. Qui y aura accès? Est-il envisagé des échanges de données, voir une valorisation industrielle ?

Il convient surtout de faire effectivement une demande auprès de la CNIL et d'obtenir son autorisation pour conserver sur un support informatique des données identifiantes.

En vous remerciant de nous avoir soumis votre projet, recevez nos meilleures et bien amicales salutations,

Pr. JC Thalabard

Président CERB IFSTTAR



Annexe 13. Approbation de l'expérimentation 2 par le CPP



DECISION PORTANT AUTORISATION D'UN LIEU DE RECHERCHE BIOMEDICALE

N° 2012 - 04

Le directeur général de l'Agence régionale de santé
de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Vu la loi N° 2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires ;

Vu l'ordonnance N° 2010-177 du 23 février 2010 de coordination avec la loi N° 2009-879 du 21 juillet 2009 ;

Vu le décret n° 2010-344 du 31 mars 2010 tirant les conséquences, au niveau réglementaire, de l'intervention de la loi n° 2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires ;

Vu le décret N° 2010-336 du 31 mars 2010 portant création des agences régionales de santé ;

Vu le décret du 1^{er} avril 2010 portant nomination de Monsieur Dominique DEROUBAIX, en qualité de directeur général de l'Agence régionale de santé Provence-Alpes-Côte d'Azur ;

Vu le code de la santé publique, notamment les articles L.1121-3, L.1121-13 et R.1121-11 à R.1121-16 ;

Vu le décret n°2006-477 du 26 avril 2006 modifiant le chapitre 1er du titre II du livre Ier de la première partie du code de la santé publique relatif aux recherches biomédicales (dispositions réglementaires) ;

Vu la décision du 24 novembre 2006 fixant les règles de bonnes pratiques cliniques pour les recherches biomédicales portant sur des médicaments à usage humain ;

Vu l'arrêté du 12 mai 2009 fixant les conditions mentionnées à l'article R.1121-11 devant figurer dans la demande d'autorisation des lieux de recherches biomédicales prévue à l'article L.1121-13 du code de la santé publique ;

Vu la demande du 23 novembre 2011 émanant de Monsieur Jean-Paul MIZZI, Directeur général adjoint et Directeur délégué du site de Marseille-Salon-de-Provence de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux, Chemin de la Croix-Blanche 13300 Salon-de-Provence, reçue à l'Agence régionale de santé Provence-Alpes-Côte d'Azur le 21 décembre 2011 ;

Vu le rapport d'enquête du médecin inspecteur en date du 31 mai 2012 ;

DECIDE :

Article 1^{er} : L'autorisation mentionnée aux articles L.1121-13 et R.1121-11 à R.1121-16 du code de la santé publique est délivrée pour une durée de cinq ans au lieu de recherches biomédicales suivant, placé sous la responsabilité de Madame Catherine Berthelon et du Docteur Antoine GINEYT :

Institut Français des Sciences et technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
Chemin de la Croix Blanche 13300 Salon-de-Provence

Article 2 : Cette autorisation inclut les recherches biomédicales figurant dans le dossier déposé à l'appui de la demande.

Article 3 : En vertu de l'article L.1121-4 du code de la santé publique, les recherches biomédicales concernées ne peuvent être mises en œuvre qu'après avis favorable du comité de protection des personnes mentionné à l'article L.1123-1 et autorisation de l'autorité compétente mentionnée à l'article L.1123-12.

Article 4 : En vertu de l'article R.1121-14 du code de la santé publique, cette autorisation devient caduque si aucune recherche biomédicale n'est entreprise dans l'année suivant sa délivrance, sauf motifs dûment justifiés.

Article 5 : En vertu de l'article R.1121-15 du code de la santé publique, toute modification relative aux éléments énumérés à l'article R.1121-13 nécessite la délivrance d'une nouvelle autorisation qui fait l'objet d'une demande dans les formes prévues à l'article R.1121-13, accompagnée des justifications appropriées.

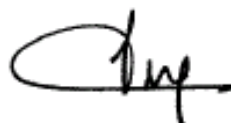
Article 6 : En vertu de l'article R.1121-16 du code de la santé publique, cette autorisation peut être retirée par l'autorité qui l'a délivrée si les conditions d'aménagement, d'équipement, d'entretien ou de fonctionnement ne sont plus adaptées à la nature des recherches ou compatibles avec les impératifs de sécurité des personnes qui s'y prêtent, après que le titulaire de l'autorisation a été mis à même de présenter ses observations.

Article 7 : Dans un délai de deux mois, la présente décision est susceptible de faire l'objet d'un recours hiérarchique auprès du Ministre des affaires sociales et de la santé, Direction générale de l'offre de soins, 14, avenue Duquesne 75350 PARIS SP 07 et/ou d'un recours contentieux devant le tribunal administratif territorialement compétent, par les intéressés à compter de la date à laquelle elle leur est notifiée et/ou par les tiers à compter de sa date de publication.

Article 8 : Le directeur général de l'Agence régionale de santé Provence-Alpes-Côte d'Azur et le demandeur sont chargés chacun en ce qui le concerne de l'exécution de la présente décision qui sera publiée au recueil des actes administratifs de la Préfecture des Bouches du Rhône.

Fait à Marseille, le **08 JUIN 2012**

Le Directeur Général de l'Agence Régionale de
Santé Provence-Alpes-Côte d'Azur



Dominique DEROUBAIX

Annexe 14. Test de Sobel (expérimentation 2)

PORTIONS SANS PIETONS

Charge de travail globale attribuée aux portions sans piétons

- Données subjectives

Tableau 67. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective *via* les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation et leurs niveaux physiologiques pendant l'activité.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Tension subjective après	<i>Via</i> Vigilance subjective après	<i>Via</i> Différentiel EDA	<i>Via</i> Différentiel ratio EEG
Expérience (Exp)	-1.56	-.63	-.68	-.53
Situation (Sit)	1.03	-1.35	.32	.33
Vigilance subjective avant (VSav)	-.26	-.78	-.46	-.03
Tension subjective avant (TSav)	3.30 **	.58	.48	.36
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.79	-.80	.82	.51
Ratio EEG avant (EEGav)	-1.16	.02	-.34	.75
Interaction Exp * Sit	-1.53	.96	-.87	.43
Interaction Exp * TSav	-.93	.30	-.38	.47
Interaction Exp * VSav	.86	-.48	.10	.27
Interaction Exp * EDAav	-1.04	1.08	-.47	.60
Interaction Exp * EEGav	.90	.26	.56	.36
Interaction Sit * TSav	-.33	1.00	.43	-.63
Interaction Sit * VSav	-.39	-.00	.63	-.37
Interaction Sit * EDAav	.22	.52	.66	-.56
Interaction Sit * EEGav	.03	-.56	-.55	-.42
Interaction TSav * VSav	.05	.49	-.34	-.37
Interaction EDAav * EEGav	-1.07	.93	-.91	-.68

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- **Données physiologiques : Différentiel de la Fréquence Cardiaque moyenne**

Tableau 68. Scores z des effets indirects sur le Différentiel de Fréquence Cardiaque *via* les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation et leurs niveaux physiologiques pendant l'activité.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Tension subjective après	<i>Via</i> Vigilance subjective après	<i>Via</i> Différentiel EDA	<i>Via</i> Différentiel ratio EEG
Expérience (Exp)	.25	-.45	-1.27	.29
Situation (Sit)	.33	-.76	1.85	.46
Vigilance subjective avant (VSav)	-.20	.28	-.62	-.03
Tension subjective avant (TSav)	-.54	.48	.74	.32
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.26	-.68	1.71	.36
Ratio EEG avant (EEGav)	-.55	.02	-.39	.20
Interaction Exp * Sit	-.05	.91	-1.52	.83
Interaction Exp * TSav	-.27	.29	-.44	.45
Interaction Exp * VSav	.19	-.44	.10	.25
Interaction Exp * EDAav	-.43	.59	-1.40	.36
Interaction Exp * EEGav	.41	.25	.93	.35
Interaction Sit * TSav	-.26	.51	.54	-.64
Interaction Sit * VSav	-.28	-.00	1.15	-.36
Interaction Sit * EDAav	.19	.46	1.27	-.43
Interaction Sit * EEGav	.03	-.51	-1.06	-.69
Interaction TSav * VSav	.05	.42	-.38	-.41
Interaction EDAav * EEGav	-.39	.64	-1.61	-.53

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tension

- Données subjectives

Tableau 69. Scores z des effets indirects sur la tension subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.22	.25
Situation (Sit)	1.46	.06
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.16	-.31
Tension subjective avant (TSav)	1.58	-.50
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.32	.26
Ratio EEG avant (EEGav)	-1.73	.59
Interaction Exp * Sit	.74	-.05
Interaction Exp * TSav	.06	-.26
Interaction Exp * VSav	.88	.20
Interaction Exp * EDAav	-1.42	.43
Interaction Exp * EEGav	.53	-.42
Interaction Sit * TSav	.76	.39
Interaction Sit * VSav	.21	.39
Interaction Sit * EDAav	.08	-.21
Interaction Sit * EEGav	-.92	.35
Interaction TSav * VSav	-1.56	.34
Interaction EDAav * EEGav	1.13	.34

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- Données physiologiques : Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA) moyenne

Tableau 70. Scores z des effets indirects sur le différentiel d'activité électrodermale *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.21	-1.28
Situation (Sit)	.31	.06
Vigilance subjective avant (VSav)	-.58	-1.46
Tension subjective avant (TSav)	.57	1.15
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.30	.93
Ratio EEG avant (EEGav)	-.63	1.57
Interaction Exp * Sit	.59	-1.38
Interaction Exp * TSav	.06	-.76
Interaction Exp * VSav	.57	1.47
Interaction Exp * EDAav	-.47	.96
Interaction Exp * EEGav	.42	-.95
Interaction Sit * TSav	.52	1.22
Interaction Sit * VSav	.20	1.09
Interaction Sit * EDAav	.08	-.26
Interaction Sit * EEGav	-.52	1.38
Interaction TSav * VSav	-.63	1.39
Interaction EDAav * EEGav	.77	.56

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Vigilance

- Données subjectives

Tableau 71. Scores z des effets indirects sur la vigilance subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	.22	.56
Situation (Sit)	-1.17	-.06
Vigilance subjective avant (VSav)	.66	-.28
Tension subjective avant (TSav)	-1.00	-.62
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.31	-.68
Ratio EEG avant (EEGav)	1.11	-.74
Interaction Exp * Sit	-.64	.96
Interaction Exp * TSav	-.06	.57
Interaction Exp * VSav	-.76	-.81
Interaction Exp * EDAav	1.10	-.54
Interaction Exp * EEGav	-.50	.64
Interaction Sit * TSav	-.65	-.50
Interaction Sit * VSav	-.20	-.67
Interaction Sit * EDAav	-.08	.25
Interaction Sit * EEGav	.76	-.79
Interaction TSav * VSav	1.09	-.65
Interaction EDAav * EEGav	-.82	-.44

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- Données physiologiques : Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta

Tableau 72. Scores z des effets indirects sur le différentiel du ratio EEG *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.21	.30
Situation (Sit)	.33	.06
Vigilance subjective avant (VSav)	-.52	-.47
Tension subjective avant (TSav)	.37	.32
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.28	.36
Ratio EEG avant (EEGav)	-.80	.21
Interaction Exp * Sit	.38	-.82
Interaction Exp * TSav	.06	-.45
Interaction Exp * VSav	.47	.42
Interaction Exp * EDAav	-.67	.36
Interaction Exp * EEGav	.39	-.48
Interaction Sit * TSav	.52	.63
Interaction Sit * VSav	.19	.50
Interaction Sit * EDAav	.08	-.23
Interaction Sit * EEGav	-.40	.69
Interaction TSav * VSav	-.47	.55
Interaction EDAav * EEGav	.64	.41

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Stratégies compensatoires : vitesse moyenne (en km/h)

Tableau 73. Scores z des effets indirects sur la vitesse moyenne *via* les niveaux subjectifs et physiologiques de charge de travail.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	.21	.13
Situation (Sit)	-.16	.06
Vigilance subjective avant (VSav)	.49	-.26
Tension subjective avant (TSav)	-.74	.07
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.27	.32
Ratio EEG avant (EEGav)	.10	-.16
Vigilance subjective après (VSap)	.51	-.25
Tension subjective après (TSap)	-.52	.22
Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA)	-.37	.56
Différentiel du ratio EEG (EEG)	-.40	.23
Interaction Exp * Sit	-.44	-.32
Interaction Exp * TSav	-.06	-.34
Interaction Exp * VSav	-.44	.32
Interaction Exp * EDAav	.41	.21
Interaction Exp * EEGav	-.33	-.07
Interaction Exp * TSap	.23	-.27
Interaction Exp * VSap	-.38	.53
Interaction Exp * EDA	.41	-.31
Interaction Exp * EEG	.09	.11
Interaction Sit * TSav	-.41	.34
Interaction Sit * VSav	-.19	.34
Interaction Sit * EDAav	-.08	-.19
Interaction Sit * EEGav	.37	.08
Interaction Sit * TSap	-.34	.42
Interaction Sit * VSap	-.44	.17
Interaction Sit * EDA	-.27	.45
Interaction Sit * EEG	.22	-.21
Interaction TSav * VSav	.52	.30
Interaction EDAav * EEGav	-.48	.25
Interaction TSap * VSap	.67	-.13
Interaction EDA * EEG	-.15	.01

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tableau 74. Scores z des effets indirects sur la vitesse moyenne *via* les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation et leurs niveaux physiologiques.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Différentiel de l'EDA	Via Vigilance subjective après	Via Différentiel du ratio de l'EEG
Expérience (Exp)	.28	1.46	-.13	-.26
Situation (Sit)	.17	-.53	.29	.80
Vigilance subjective avant (VSav)	.08	.56	-.16	-.03
Tension subjective avant (TSav)	-1.28	-.67	.11	.31
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.04	-.98	-.16	.48
Ratio EEG avant (EEGav)	-.19	.37	.02	.20
Charge de travail subjective (CTS)	.13	-.61	.28	.40
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)	-.09	-1.11	.18	.35
Interaction Exp * Sit	.05	1.01	.18	.46
Interaction Exp * TSav	-.03	.42	.15	.37
Interaction Exp * VSav	-.06	-.10	-.19	.27
Interaction Exp * EDAav	.01	.89	.12	.41
Interaction Exp * EEGav	.11	-.69	.19	.38
Interaction Exp * CTS	-.01	.90	-.23	-.09
Interaction Exp * DFC	.07	.70	.27	.12
Interaction Sit * TSav	.09	-.49	.29	-.43
Interaction Sit * VSav	.10	-.83	-.00	-.34
Interaction Sit * EDAav	-.07	-.89	.21	-.45
Interaction Sit * EEGav	-.03	.76	-.26	-.66
Interaction Sit * CTS	.04	-.83	-.13	-.24
Interaction Sit * DFC	-.16	-.87	-.16	-.32
Interaction TSav * VSav	-.04	.37	.20	-.37
Interaction TSav * CTS	-.36	-.87	.05	.27
Interaction VSav * CTS	.13	.08	-.19	-.34
Interaction TSav * DFC	-.04	-.29	.12	.03
Interaction VSav * DFC	-.08	-.72	-.21	-.30
Interaction EDAav * EEGav	.08	1.01	.21	-.49
Interaction EDAav * CTS	-.10	-.61	.11	-.15
Interaction EEGav * CTS	.19	.72	-.09	-.37
Interaction EDAav * DFC	-.03	.33	-.05	-.38
Interaction EEGav * DFC	-.22	.27	.10	-.17

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Performances de conduite : écart-type de vitesse

Tableau 75. Scores z des effets indirects sur l'écart-type de vitesse *via* les niveaux subjectifs et physiologiques de charge de travail.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Charge de travail subjective	<i>Via</i> Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	.22	.21
Situation (Sit)	-.82	-.05
Vigilance subjective avant (VSav)	.99	.10
Tension subjective avant (TSav)	-1.33	-.31
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.32	-.17
Ratio EEG avant (EEGav)	1.24	-.35
Vigilance subjective après (VSap)	1.09	.22
Tension subjective après (TSap)	-1.78	-.15
Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA)	-.68	.08
Différentiel du ratio EEG (EEG)	-.55	-.13
Interaction Exp * Sit	-.69	.27
Interaction Exp * TSav	-.06	.19
Interaction Exp * VSav	-.80	.04
Interaction Exp * EDAav	1.14	-.21
Interaction Exp * EEGav	-.52	.13
Interaction Exp * TSap	1.30	.12
Interaction Exp * VSap	-.63	-.25
Interaction Exp * EDA	1.10	-.04
Interaction Exp * EEG	.10	-.10
Interaction Sit * TSav	-.71	-.12
Interaction Sit * VSav	-.20	-.16
Interaction Sit * EDAav	-.08	.14
Interaction Sit * EEGav	.85	.03
Interaction Sit * TSap	-.89	-.17
Interaction Sit * VSap	-.69	-.14
Interaction Sit * EDA	-1.16	-.12
Interaction Sit * EEG	.24	.15
Interaction TSav * VSav	1.21	-.21
Interaction EDAav * EEGav	-.97	-.13
Interaction TSap * VSap	1.11	.16
Interaction EDA * EEG	-.15	-.01

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tableau 76. Scores z des effets indirects sur l'écart-type de vitesse *via* les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation et leurs niveaux physiologiques.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Différentiel de l'EDA	Via Vigilance subjective après	Via Différentiel du ratio de l'EEG
Expérience (Exp)	-.08	1.05	-.54	.56
Situation (Sit)	.79	1.14	.80	.69
Vigilance subjective avant (VSav)	-.10	.54	-1.20	.03
Tension subjective avant (TSav)	-.71	-.64	.50	-.60
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.09	-.99	-.65	-.47
Ratio EEG avant (EEGav)	-.21	.36	.02	-.62
Charge de travail subjective (CTS)	.84	-.57	.85	-.35
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)	.10	-.92	.58	-.36
Interaction Exp * Sit	-.00	1.04	.80	-.43
Interaction Exp * TSav	-.06	.41	.29	-.43
Interaction Exp * VSav	.19	-.10	-.43	-.27
Interaction Exp * EDAav	-.15	.82	.68	-.51
Interaction Exp * EEGav	.07	-.72	.25	-.36
Interaction Exp * CTS	-.13	.85	-.52	.09
Interaction Exp * DFC	-.16	.63	-1.23	-.13
Interaction Sit * TSav	-.08	-.48	.81	.55
Interaction Sit * VSav	-.09	-.81	-0.00	.36
Interaction Sit * EDAav	.09	-.84	.47	.52
Interaction Sit * EEGav	.03	.82	-.48	.67
Interaction Sit * CTS	-.05	-.97	-.56	.24
Interaction Sit * DFC	.11	-.78	-.21	.32
Interaction TSav * VSav	.04	.36	.44	.38
Interaction TSav * CTS	.20	-.74	.76	-.28
Interaction VSav * CTS	-.07	.08	-.52	.36
Interaction TSav * DFC	.09	-.29	.15	-.03
Interaction VSav * DFC	.08	-.67	-.46	.30
Interaction EDAav * EEGav	-.05	.99	.79	.56
Interaction EDAav * CTS	.12	-.58	1.00	.15
Interaction EEGav * CTS	-.05	.67	-.62	.47
Interaction EDAav * DFC	.03	.32	-.05	.39
Interaction EEGav * DFC	.14	.27	.11	.17

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Stratégies compensatoires : Position Latérale moyenne (en mm)

Tableau 77. Scores z des effets indirects sur la Position Latérale moyenne *via* les niveaux subjectifs et physiologiques de charge de travail.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.22	.84
Situation (Sit)	.84	-.06
Vigilance subjective avant (VSav)	-.92	.59
Tension subjective avant (TSav)	1.31	-.02
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.31	-.34
Ratio EEG avant (EEGav)	-1.25	-.25
Vigilance subjective après (VSap)	-1.03	.22
Tension subjective après (TSap)	2.12 *	-.17
Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA)	.66	-.57
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.55	-.23
Interaction Exp * Sit	.68	.29
Interaction Exp * TSav	.06	.30
Interaction Exp * VSav	.78	-.40
Interaction Exp * EDAav	-1.05	-.13
Interaction Exp * EEGav	.51	.40
Interaction Exp * TSap	-1.28	.22
Interaction Exp * VSap	.62	.03
Interaction Exp * EDA	-1.15	.27
Interaction Exp * EEG	-.10	-.11
Interaction Sit * TSav	.69	-.34
Interaction Sit * VSav	.20	-.36
Interaction Sit * EDAav	.08	.18
Interaction Sit * EEGav	-.83	-.41
Interaction Sit * TSap	.86	-.26
Interaction Sit * VSap	.67	-.17
Interaction Sit * EDA	1.11	-.27
Interaction Sit * EEG	-.24	.19
Interaction TSav * VSav	-1.15	-.18
Interaction EDAav * EEGav	.95	-.23
Interaction TSap * VSap	-1.06	.25
Interaction EDA * EEG	.15	-.01

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tableau 78. Scores z des effets indirects sur la Position Latérale moyenne *via* les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation et leurs niveaux physiologiques.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Différentiel de l'EDA	Via Vigilance subjective après	Via Différentiel du ratio de l'EEG
Expérience (Exp)	1.26	-.86	.27	-.01
Situation (Sit)	-.98	.10	-.84	-.41
Vigilance subjective avant (VSav)	.26	-.57	1.42	-.03
Tension subjective avant (TSav)	-.67	.70	-.06	.52
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.72	1.01	.06	.25
Ratio EEG avant (EEGav)	.96	-.38	-.02	.35
Charge de travail subjective (CTS)	-2.10 *	.63	-.38	.24
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)	-.35	1.24	-.15	.29
Interaction Exp * Sit	1.15	-1.15	-.14	.40
Interaction Exp * TSav	.83	-.43	-.13	.38
Interaction Exp * VSav	-.77	.10	.13	.23
Interaction Exp * EDAav	.91	-.96	-.01	.43
Interaction Exp * EEGav	-.77	.84	-.12	.32
Interaction Exp * CTS	1.36	-.97	.23	-.09
Interaction Exp * DFC	.44	-.72	.63	.12
Interaction Sit * TSav	.33	.51	-.30	-.44
Interaction Sit * VSav	.38	.90	.00	-.31
Interaction Sit * EDAav	-.22	.99	-.18	-.37
Interaction Sit * EEGav	-.03	-.91	.11	-.50
Interaction Sit * CTS	-.86	1.09	.23	-.21
Interaction Sit * DFC	-.93	.90	.13	-.27
Interaction TSav * VSav	-.05	-.37	-.15	-.29
Interaction TSav * CTS	-1.42	.86	-.26	.24
Interaction VSav * CTS	1.12	-.08	.10	-.31
Interaction TSav * DFC	-.33	.30	-.12	.03
Interaction VSav * DFC	-.15	.76	.19	-.25
Interaction EDAav * EEGav	.90	-1.14	-.18	-.35
Interaction EDAav * CTS	-.50	.63	-.21	-.14
Interaction EEGav * CTS	.74	-.75	.09	-.37
Interaction EDAav * DFC	-.04	-.33	.05	-.31
Interaction EEGav * DFC	-1.11	-.28	-.10	-.17

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Performances de conduite : Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP)

Tableau 79. Scores z des effets indirects sur les SDLP *via* les niveaux subjectifs et physiologiques de charge de travail.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Charge de travail subjective	<i>Via</i> Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.22	1.79
Situation (Sit)	1.30	-.06
Vigilance subjective avant (VSav)	-1.09	1.25
Tension subjective avant (TSav)	1.45	-.99
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.32	-.81
Ratio EEG avant (EEGav)	-1.53	-1.14
Vigilance subjective après (VSap)	-1.18	.69
Tension subjective après (TSap)	2.29 *	-.35
Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA)	.71	-1.23
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.57	-.46
Interaction Exp * Sit	.72	1.16
Interaction Exp * TSav	.06	.70
Interaction Exp * VSav	.87	-.89
Interaction Exp * EDAav	-1.34	-.87
Interaction Exp * EEGav	.53	.90
Interaction Exp * TSap	-1.59	.41
Interaction Exp * VSap	.65	-.76
Interaction Exp * EDA	-1.44	.75
Interaction Exp * EEG	-.10	-.12
Interaction Sit * TSav	.74	-1.09
Interaction Sit * VSav	.21	-.93
Interaction Sit * EDAav	.08	.26
Interaction Sit * EEGav	-.89	-1.14
Interaction Sit * TSap	.95	-.87
Interaction Sit * VSap	.72	-.22
Interaction Sit * EDA	1.33	-.91
Interaction Sit * EEG	-.24	.33
Interaction TSav * VSav	-1.38	-1.00
Interaction EDAav * EEGav	1.07	-.53
Interaction TSap * VSap	-1.22	.84
Interaction EDA * EEG	.15	-.01

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tableau 80. Scores z des effets indirects sur les SDLP *via* les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation et leurs niveaux physiologiques.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Différentiel de l'EDA	Via Vigilance subjective après	Via Différentiel du ratio de l'EEG
Expérience (Exp)	.11	.64	.19	.17
Situation (Sit)	-.12	-.81	-.34	-.23
Vigilance subjective avant (VSav)	-.08	.25	.71	-.03
Tension subjective avant (TSav)	.10	-.21	-.11	.10
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.22	.19	.26	.23
Ratio EEG avant (EEGav)	-.05	.20	-.02	.17
Charge de travail subjective (CTS)	-.95	-.37	-.44	-.05
Différentiel de Fréquence Cardiaque (DFC)	.14	.13	.01	.17
Interaction Exp * Sit	-.11	.21	-.12	.09
Interaction Exp * TSav	-.12	.19	-.11	.09
Interaction Exp * VSav	.32	-.09	.23	.16
Interaction Exp * EDAav	-.25	-.01	-.31	-.04
Interaction Exp * EEGav	.36	.07	-.03	.22
Interaction Exp * CTS	-.03	.28	.13	-.07
Interaction Exp * DFC	-.15	.11	-.23	.07
Interaction Sit * TSav	-.14	-.27	-.38	-.32
Interaction Sit * VSav	-.08	-.14	.00	-.07
Interaction Sit * EDAav	.11	-.11	-.07	.00
Interaction Sit * EEGav	.03	.13	.06	-.22
Interaction Sit * CTS	.13	-.18	.12	-.09
Interaction Sit * DFC	.14	-.18	.10	-.09
Interaction TSav * VSav	.05	.22	-.04	-.03
Interaction TSav * CTS	-.20	.36	-.29	.06
Interaction VSav * CTS	.13	.07	.18	-.05
Interaction TSav * DFC	.08	-.19	-.09	.03
Interaction VSav * DFC	.09	-.15	.14	-.08
Interaction EDAav * EEGav	-.13	.17	-.15	-.14
Interaction EDAav * CTS	.09	-.22	-.17	-.09
Interaction EEGav * CTS	-.02	.29	.20	-.03
Interaction EDAav * DFC	.03	.16	.05	-.16
Interaction EEGav * DFC	.07	.17	-.08	-.09

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

PORTIONS AVEC PIETONS

Charge de travail attribuée aux 2^e et 3^e piétons

- **Données subjectives**

Tableau 81. Scores z des effets indirects sur la charge de travail subjective *via* les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Stratégies d'évitement
Expérience (Exp)	-1.34
Situation (Sit)	.07
Vigilance subjective avant (VSav)	-.41
Tension subjective avant (TSav)	1.54
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.91
Ratio EEG avant (EEGav)	-.39
Vigilance subjective après (VSap)	-1.10
Tension subjective après (TSap)	1.86
Pics EDA	-.14
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.20
Interaction Exp * Sit	-.66
Interaction Exp * TSav	.89
Interaction Exp * VSav	1.90
Interaction Exp * EDAav	-.39
Interaction Exp * EEGav	-1.80
Interaction Exp * TSap	.13
Interaction Exp * VSap	1.45
Interaction Exp * Pics EDA	.08
Interaction Exp * EEG	-1.33
Interaction Sit * TSav	-1.01
Interaction Sit * VSav	-.69
Interaction Sit * EDAav	-.74
Interaction Sit * EEGav	.92
Interaction Sit * TSap	-.49
Interaction Sit * VSap	.58
Interaction Sit * Pics EDA	.08
Interaction Sit * EEG	.72
Interaction TSav * VSav	.52
Interaction EDAav * EEGav	1.43
Interaction TSap * VSap	-1.73
Interaction Pics EDA * EEG	.90

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- Données physiologiques : Différentiel de la Fréquence Cardiaque moyenne

Tableau 82. Scores z des effets indirects sur le Différentiel de Fréquence Cardiaque *via* les stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons.

Variables Indépendantes	Via Stratégies d'évitement
Expérience (Exp)	-.49
Situation (Sit)	.07
Vigilance subjective avant (VSav)	-.38
Tension subjective avant (TSav)	.71
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.72
Ratio EEG avant (EEGav)	-.37
Vigilance subjective après (VSap)	-.72
Tension subjective après (TSap)	.87
Pics EDA	-.13
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.20
Interaction Exp * Sit	-.54
Interaction Exp * TSav	.70
Interaction Exp * VSav	.58
Interaction Exp * EDAav	-.37
Interaction Exp * EEGav	-.73
Interaction Exp * TSap	.13
Interaction Exp * VSap	.56
Interaction Exp * Pics EDA	.08
Interaction Exp * EEG	-.84
Interaction Sit * TSav	-.79
Interaction Sit * VSav	-.60
Interaction Sit * EDAav	-.60
Interaction Sit * EEGav	.64
Interaction Sit * TSap	-.45
Interaction Sit * VSap	.50
Interaction Sit * Pics EDA	.08
Interaction Sit * EEG	.60
Interaction TSav * VSav	.46
Interaction EDAav * EEGav	.79
Interaction TSap * VSap	-.75
Interaction Pics EDA * EEG	.70

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tension

- **Données subjectives**

Test de Sobel : effets indirects

Les effets indirects état nombreux, le tableau a été présenté dans la partie directement concernant les résultats de la 2^e expérimentation.

- **Données physiologiques : Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale**

Tableau 83. Scores z des effets indirects sur l'amplitude moyenne des pics de la réponse électrodermale *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.46	-.76
Situation (Sit)	-.71	.10
Vigilance subjective avant (VSav)	-.44	-1.99
Tension subjective avant (TSav)	-.94	1.65
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.18	1.30
Ratio EEG avant (EEGav)	.71	2.44 *
Interaction Exp * Sit	-.59	-1.88
Interaction Exp * TSav	.96	-1.21
Interaction Exp * VSav	.69	2.10 *
Interaction Exp * EDAav	.34	1.60
Interaction Exp * EEGav	-.28	-1.55
Interaction Sit * TSav	-.64	1.84
Interaction Sit * VSav	-.02	1.63
Interaction Sit * EDAav	-1.04	-.45
Interaction Sit * EEGav	.01	1.89
Interaction TSav * VSav	.60	1.79
Interaction EDAav * EEGav	.97	.96

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Vigilance

- Données subjectives

Tableau 84. Scores z des effets indirects sur la vigilance subjective après chaque situation *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	-.68	.99
Situation (Sit)	-.99	-.10
Vigilance subjective avant (VSav)	-.53	-.49
Tension subjective avant (TSav)	-1.71	-1.09
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.18	-1.19
Ratio EEG avant (EEGav)	.91	-1.29
Interaction Exp * Sit	-.93	1.69
Interaction Exp * TSav	1.84	.99
Interaction Exp * VSav	1.03	-1.41
Interaction Exp * EDAav	.36	-.95
Interaction Exp * EEGav	2.33 *	1.12
Interaction Sit * TSav	-1.27	-.88
Interaction Sit * VSav	-.02	-1.17
Interaction Sit * EDAav	-1.84	.44
Interaction Sit * EEGav	.01	-1.38
Interaction TSav * VSav	1.07	-1.14
Interaction EDAav * EEGav	1.19	-.78

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- Données physiologiques : Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta

Tableau 85. Scores z des effets indirects sur le différentiel du ratio EEG *via* la charge de travail subjective.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective
Expérience (Exp)	.47
Situation (Sit)	.28
Vigilance subjective avant (VSav)	.35
Tension subjective avant (TSav)	.16
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.17
Ratio EEG avant (EEGav)	-.51
Interaction Exp * Sit	.25
Interaction Exp * TSav	-.65
Interaction Exp * VSav	-.45
Interaction Exp * EDAav	-.29
Interaction Exp * EEGav	-.68
Interaction Sit * TSav	.63
Interaction Sit * VSav	.02
Interaction Sit * EDAav	.87
Interaction Sit * EEGav	-.01
Interaction TSav * VSav	-.37
Interaction EDAav * EEGav	-.26

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Stratégies d'évitement des 2^e et 3^e piétons

Test de Sobel : effets indirects

Les effets indirects état nombreux, le tableau a directement été présenté dans la partie concernant les résultats de la 2^e expérimentation.

Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2^e et 3^e piétons

Tableau 86. Scores z des effets indirects sur les Temps de Réaction *via* la charge de travail subjective et le différentiel de fréquence cardiaque moyenne.

Variables Indépendantes	Via Charge de travail subjective	Via Différentiel de Fréquence Cardiaque
Expérience (Exp)	.69	.57
Situation (Sit)	.98	.10
Vigilance subjective avant (VSav)	.52	-1.11
Tension subjective avant (TSav)	1.84	1.02
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.18	.85
Ratio EEG avant (EEGav)	-.92	.49
Vigilance subjective après (VSap)	-1.86	-.84
Tension subjective après (TSap)	2.28 *	.53
Pics EDA	-.77	.94
Différentiel du ratio EEG (EEG)	.45	.62
Interaction Exp * Sit	.94	-1.38
Interaction Exp * TSav	-1.93	-.89
Interaction Exp * VSav	-1.04	1.17
Interaction Exp * EDAav	-.36	.81
Interaction Exp * EEGav	-1.58	-.62
Interaction Exp * TSap	-2.45 *	-.61
Interaction Exp * VSap	-1.47	1.16
Interaction Exp * Pics EDA	.53	.39
Interaction Exp * EEG	-1.57	.21
Interaction Sit * TSav	1.31	.83
Interaction Sit * VSav	.02	.95
Interaction Sit * EDAav	1.96	-.42
Interaction Sit * EEGav	-.01	.82
Interaction Sit * TSap	.66	.85
Interaction Sit * VSap	-.32	.36
Interaction Sit * Pics EDA	1.79	.86
Interaction Sit * EEG	.84	-.51
Interaction TSav * VSav	-1.07	1.16
Interaction EDAav * EEGav	-1.17	.76
Interaction TSap * VSap	-.23	-.84
Interaction Pics EDA * EEG	.94	-.61

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Tableau 87. Scores z des effets indirects sur les Temps de Réaction *via* les niveaux subjectifs de tension et de vigilance après chaque situation, les pics EDA et le différentiel de ratio EEG.

Variables Indépendantes	<i>Via</i> Tension subjective après	<i>Via</i> Pics EDA	<i>Via</i> Vigilance subjective après	<i>Via</i> Différentiel du ratio EEG
Expérience (Exp)	.05	1.12	.63	-1.38
Situation (Sit)	.66	.28	.47	1.84
Vigilance subjective avant (VSav)	-.38	-.21	.08	-.06
Tension subjective avant (TSav)	1.31	.29	-.35	1.59
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	.56	-.78	.32	1.30
Ratio EEG avant (EEGav)	-.94	-.81	-.04	1.57
Charge de travail subjective (CTS)	-.07	-.32	-.75	.45
Différentiel de fréquence cardiaque (DFC)	.44	.09	-.47	.80
Interaction Exp * Sit	-1.01	-.43	-.77	1.72
Interaction Exp * TSav	-.74	-.35	-.35	1.17
Interaction Exp * VSav	.68	-.19	.40	.53
Interaction Exp * EDAav	-.75	-.76	-.60	1.38
Interaction Exp * EEGav	.89	1.30	-.26	.79
Interaction Exp * CTS	-.64	.22	-.39	-1.50
Interaction Exp * DFC	-.51	.21	.39	.22
Interaction Sit * TSav	-.45	-.30	-.62	-1.81
Interaction Sit * VSav	-.48	.23	.00	-.78
Interaction Sit * EDAav	.33	.23	-.38	-1.79
Interaction Sit * EEGav	.06	.02	.32	-1.90
Interaction Sit * CTS	.49	.13	-.26	.96
Interaction Sit * DFC	.57	.17	.27	-.66
Interaction TSav * VSav	.09	.36	-.33	-.90
Interaction EDAav * EEGav	-.40	.80	-.02	-1.60
Interaction TSav * CTS	.51	.19	-.25	1.28
Interaction VSav * CTS	-.58	-.16	-.05	1.02
Interaction TSav * DFC	.44	-.22	-.22	.05
Interaction VSav * DFC	.25	.00	.43	-.61
Interaction EDAav * DFC	.06	-.19	.09	-.88
Interaction EEGav * DFC	.06	-.19	.09	-.88
Interaction EDAav * CTS	.43	.50	-.24	1.08
Interaction EEGav * CTS	-.34	-.46	.30	1.07

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Nombre de collisions avec les 2^e et 3^e piétons

Tableau 88. Scores z des effets indirects sur le nombre de collisions *via* les niveaux subjectifs de vigilance et de tension après chaque situation, les pics EDA et le différentiel de ratio EEG.

Variables Indépendantes	Via Tension subjective après	Via Pics EDA	Via Vigilance subjective après	Via Différentiel de ratio EEG
Expérience (Exp)	1.64	-.02	1.10	-1.45
Situation (Sit)	-1.12	.88	1.72	1.70
Vigilance subjective avant (VSav)	.43	-.37	1.22	-.06
Tension subjective avant (TSav)	.07	.96	-.99	1.63
Activité ElectroDermale avant (EDAav)	-.99	.26	1.33	1.28
Ratio EEG avant (EEGav)	.89	-1.52	-.04	1.52
Charge de travail subjective (CTS)	-2.17 *	-.68	-1.85	.45
Différentiel de fréquence cardiaque (DFC)	-.56	1.08	-1.14	.80
Interaction Exp * Sit	1.17	-.86	-1.68	1.93
Interaction Exp * TSav	.94	-.94	-.52	1.16
Interaction Exp * VSav	-.89	-.68	.82	.53
Interaction Exp * CTS	1.58	.47	-1.31	-1.43
Interaction Exp * DFC	.67	.40	1.78	.22
Interaction Exp * EDAav	.93	-1.88	-1.77	1.34
Interaction Exp * EEGav	-.73	2.27 *	-.45	.79
Interaction Sit * TSav	.53	-.76	-1.75	-1.70
Interaction Sit * VSav	.60	.56	.00	-.78
Interaction Sit * EDAav	-.37	.82	-.90	-1.83
Interaction Sit * EEGav	-.06	.02	.96	-1.84
Interaction Sit * CTS	-.66	.92	-.32	.96
Interaction Sit * DFC	-1.15	.84	.37	-.66
Interaction TSav * VSav	-.09	.96	-.83	-.89
Interaction EDAav * EEGav	1.29	.34	-1.37	-1.47
Interaction TSav * CTS	-1.22	.35	-.31	1.28
Interaction VSav * CTS	.89	-1.30	-.05	.99
Interaction TSav * DFC	-.54	-.38	-.25	.05
Interaction VSav * DFC	-.26	.00	.89	-.61
Interaction EDAav * CTS	-.50	.91	-.32	1.05
Interaction EEGav * CTS	.36	-1.00	.62	1.06
Interaction EDAav * DFC	-.06	-.83	.09	-.87
Interaction EEGav * DFC	-.06	-.83	.09	-.87

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$